



**Filipa Cunha Nobre Pessoa da Silva**

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Avaliação do Potencial da Produção de  
Energia Elétrica Através de Resíduos Urbanos  
em Portugal Continental  
Horizonte Temporal 2014-2020**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do  
Ambiente, Perfil de Gestão de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira,  
Professor Auxiliar da FCT/UNL

Co-orientador: Prof. Mestre Artur João Lopes Cabeças, Professor  
Auxiliar Convidado da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

Arguente: Prof. Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas

Vogal: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2014**



**Filipa Cunha Nobre Pessoa da Silva**

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Avaliação do Potencial da Produção de  
Energia Elétrica Através de Resíduos Urbanos  
em Portugal Continental  
Horizonte Temporal 2014-2020**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do  
Ambiente, Perfil de Gestão de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira,  
Professor Auxiliar da FCT/UNL

Co-orientador: Prof. Mestre Artur João Lopes Cabeças, Professor  
Auxiliar Convidado da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

Arguente: Prof. Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas

Vogal: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2014**





**Avaliação do Potencial da Produção Elétrica Através de Resíduos Urbanos em Portugal Continental – Horizonte Temporal 2014-2020**

Copyright © Filipa Cunha Nobre Pessoa da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos, reproduzidos em papel, de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*“É da insatisfação que nasce o progresso, mas este tem que ser criterioso e ponderado.”*

*Maria Filomena Carmo e Cunha (Avó Mena)*

# Agradecimentos

Aos meus pais, avós paternos e maternos por todo o apoio ao longo de todo o meu percurso, isto porque, sem eles nunca teria conseguido “voar”!

Ao meu orientador, Prof. Doutor Francisco Ferreira por toda a paciência e dedicação ao longo destes meses de trabalho. Agradeço-lhe ter-se disponibilizado para o estabelecimento de contato com o Prof. Doutor Artur Cabeças.

Ao meu co-orientador, Prof. Doutor Artur Cabeças pela orientação, ajuda e transmissão de ferramentas muito úteis à realização da dissertação.

Ao Eng<sup>o</sup> Rui Dores pelo tempo dispensado a ajudar-me nos cálculos, cruciais para o sucesso desta dissertação.

E por último, mas não menos importantes, agradeço aos meus amigos e amigas mais chegados (Sílvia Ferreira, João Santos, Catarina Verdelho e Hugo Barata) por todos os momentos de descontração que passámos. Um agradecimento muito especial ao Iúri Martins por todo o apoio emocional, por acreditar em mim e estar sempre do meu lado.





# Resumo

---

Até há algumas décadas atrás considerava-se que os resíduos não tinham qualquer tipo de valor associado. Nos dias de hoje os resíduos são já encarados de forma diferente, tendo-se vindo a assistir a um crescimento da sua valorização, nomeadamente através da sua utilização direta ou de produtos da sua degradação para a produção de energia elétrica. O objetivo principal deste estudo é fazer uma previsão do potencial de produção de energia elétrica através dos resíduos urbanos em Portugal Continental, tendo como horizonte de estudo os anos de 2014 a 2020.

Para a realização deste estudo consideraram-se 36 aterros, 9 Centrais de Valorização Orgânica (CVO) / Tratamento Mecânico Biológico (TMB) atualmente em operação, 4 CVO/TMB que serão construídas em breve e ainda duas instalações de incineração existentes. Além da avaliação da produção de energia elétrica foi também efetuada uma análise quer das emissões de gases com efeito de estufa associadas, quer das evitadas, para cada um dos casos.

Com a realização deste estudo pode concluir-se que, ao nível da produção de energia elétrica no período considerado de 2014-2020, a incineração é o processo que conseguirá produzir maiores quantidades de energia em qualquer um dos cenários analisados, seguido dos aterros e por último das CVO/TMB.

Os aterros sanitários, em qualquer um dos cenários são os maiores emissores para a atmosfera de gases que agravam o efeito de estufa, sendo que emitir-se-á em média por ano, no período 2014-2020 cerca de 0,61 tCO<sub>2eq</sub>/t RU e por cada tonelada de RU queimada nas unidades de incineração, emitir-se-á em média cerca de 0,57 tCO<sub>2</sub>/t RU.

**Palavras-chave:** aterros sanitários; CVO/TMB; incineração; energia elétrica; gases com efeito de estufa; modelo LandGEM.

---



# Abstract

---

Waste, in distant times, were seen as despicable without any value, however, this paradigm over the years have been changing. These days are now perceived differently having been witnessing a growth in its value, especially for electricity production. The main objective of this study is to study and analyze the potential for electricity production through the waste in Portugal in the forecasted horizon of 2014-2020. For this study were considered 36 landfills, 9 Organic Valorization Centers (CVO)/Mechanical Biological Treatment (TMB) currently in operation, 4 CVO/TMB to be built soon and 2 incinerators already existing. Besides the evaluation of electrical production was also performed an analysis of avoided emissions and associated emissions to each case.

This work allows to conclude that the level of electricity production in the 2014-2020 period considered, the incineration process will be able to produce larger amounts of electrical energy comparing with the other processes (landfill and CVO/TMB).

Landfills in any of the scenarios are the largest greenhouse effect emitters to the atmosphere and will emit in 2014-2020 period, on average each year about 0.61 tonCO<sub>2eq</sub>/ton of municipal waste and incineration plants for each tonne of municipal burnt will emit on average about 0.57 tonCO<sub>2</sub>/ton municipal waste.

**Keywords:** landfills; CVO/TMB; incineration; electrical energy; greenhouse gases; LandGEM.

---



# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	4
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	7
2.2	GESTÃO DE RESÍDUOS EM PORTUGAL .....	10
2.3	DEPOSIÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS.....	16
2.4	DEPOSIÇÃO EM CENTRAIS DE VALORIZAÇÃO ORGÂNICA OU TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO – DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	24
2.5	VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA – INCINERAÇÃO.....	32
2.6	PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE ATRAVÉS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	38
2.7	EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA .....	43
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
3.1	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS E PRESSUPOSTOS GERAIS .....	45
3.2	CENÁRIOS .....	47
3.3	METODOLOGIA DA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E EMISSÕES .....	57
3.4	LIMITAÇÕES NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO .....	69
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
4.1	ATERROS SANITÁRIOS.....	71
4.2	CVO/TMB.....	102
4.3	INCINERAÇÃO.....	114
4.4	SÍNTESE DE RESULTADOS.....	126
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>133</b>
5.1	SÍNTESE .....	133
5.2	RECOMENDAÇÕES .....	135
5.3	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	136
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>137</b>



# Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – RESÍDUOS URBANOS ENCAMINHADOS PARA AS DIVERSAS OPERAÇÕES DE GESTÃO (ALVARENGA <i>ET AL</i> , 2013). .....	3
FIGURA 2.1- CARACTERIZAÇÃO FÍSICA MÉDIA DOS RU PRODUZIDOS EM 2011 EM PORTUGAL CONTINENTAL. (APA, 2013A).....	9
FIGURA 2.2 – DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS URBANOS NO PERÍODO DE ANÁLISE DE 2006-2010 (APA&INE <i>IN</i> INE, 2012).....	10
FIGURA 2.3 – SISTEMA INTEGRADO DE RESÍDUOS URBANOS (CABEÇAS A. J., 2005). .....	11
FIGURA 2.4 – HIERARQUIA DE GESTÃO DE RESÍDUOS (FERRÃO & PINHEIRO, 2011).....	12
FIGURA 2.5 – METAS DE RUB DEPOSITADO EM ATERRO (%1995) (COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO GRUPO TRABALHO OPERACIONAL, 2013). .....	13
FIGURA 2.6 - SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS (APA, 2013A).....	14
FIGURA 2.7 – FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA NUM ATERRO SANITÁRIO. ....	17
FIGURA 2.8 – FASES DA DEGRADAÇÃO DOS RU EM ATERRO (ADAPTADO DE TCHOBANOGLIOUS, 1993 <i>IN</i> RUSSO, 2005). .....	20
FIGURA 2.9 – CURVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO (ADAPTADO DE JENSEN & PIPATTI, 2002). ....	22
FIGURA 2.10 - EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA ASSOCIADAS E EVITADAS NOS ATERROS SANITÁRIOS.....	23
FIGURA 2.11 - FLUXO DE ENTRADA E SAÍDA NUMA CVO OU TMB.....	25
FIGURA 2.12– ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UMA UNIDADE DE TRATAMENTO BIOLÓGICO (ECO-EMBALLAGES, 2007 <i>IN</i> TEIXEIRA, 2009).....	27
FIGURA 2.13 - ESQUEMA DAS CONVERSÕES ANAERÓBIAS (RUSSO, 2005).....	30
FIGURA 2.14 - EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA ASSOCIADAS E EVITADAS NAS CVO/TMB. ....	32
FIGURA 2.15 - FLUXO DE ENTRADA E SAÍDA DE UMA CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA (ADAPTADO DE MARTINHO, GONÇALVES, & SILVEIRA, 2011).....	34
FIGURA 2.16 – HIERARQUIA DA DEPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS (HOORNWEG & BHADA-TATA, 2012).....	35
FIGURA 2.17 - ESQUEMA DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO (IAWG, 1997 <i>IN</i> JOÃO DE QUINA, 2005). ....	36
FIGURA 2.18 - EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA ASSOCIADAS E EVITADAS NAS UNIDADES DE INCINERAÇÃO.....	38
FIGURA 2.19 - PRODUÇÃO BRUTA DE ENERGIA ELÉTRICA COM BASE EM FER, EM PORTUGAL (DGEG, 2013 <i>IN</i> APA, 2013B).....	40
FIGURA 2.20 - PESO DAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS NO TOTAL DE POTÊNCIA INSTALADA EM PORTUGAL CONTINENTAL (%) (ADAPTADO DE INEGI, 2014).....	41
FIGURA 2.21 – PERCURSO DO BIOGÁS DESDE A SUA EXTRAÇÃO DO ATERRO ATÉ À SUA INJEÇÃO NA REDE ELÉTRICA NACIONAL (BRAGA, 2011).....	41
FIGURA 3.1 – LINHAS ORIENTADORAS DO PERSU 2020, PARA CADA SISTEMA DE GESTÃO DE RU (MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA, 2013).....	54
FIGURA 3.2 – DIAGRAMA DE FLUXO DO FUNCIONAMENTO DO MODELO LANDGEM. ADAPTADO DE ALEXANDER <i>ET AL</i> , 2005. ....	61

FIGURA 4.1 – ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DESDE O PERÍODO DE ABERTURA DOS ATERROS ATÉ 2020 – CENÁRIO OTIMISTA.....	75
FIGURA 4.2 – ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014-2020 – CENÁRIO OTIMISTA.....	76
FIGURA 4.3 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA EM 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	77
FIGURA 4.4 – DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA NORTE – CENÁRIO OTIMISTA....	78
FIGURA 4.5 – ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PERÍODO 1997-2020 – CENÁRIO OTIMISTA. ....	79
FIGURA 4.6 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	80
FIGURA 4.7 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA EM 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	81
FIGURA 4.8 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - CENÁRIO OTIMISTA.....	82
FIGURA 4.9 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 1997-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	83
FIGURA 4.10 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	83
FIGURA 4.11 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA EM 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA.....	84
FIGURA 4.12 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - CENÁRIO OTIMISTA.....	85
FIGURA 4.13 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 1997-2020 - CENÁRIO PERSU.....	88
FIGURA 4.14 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU.....	89
FIGURA 4.15 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA NORTE - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	89
FIGURA 4.16 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA NORTE – CENÁRIO PERSU. ....	90
FIGURA 4.17 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 1997-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	91
FIGURA 4.18 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	92
FIGURA 4.19 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	93
FIGURA 4.20 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT - CENÁRIO PERSU.....	94
FIGURA 4.21 - ATERROS SANITÁRIOS ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 1997-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	95
FIGURA 4.22 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU.....	95



FIGURA 4.23 - ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	96
FIGURA 4.24 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE - CENÁRIO PERSU.....	97
FIGURA 4.25 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA NORTE – CENÁRIO PESSIMISTA. ....	99
FIGURA 4.26 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT – CENÁRIO PESSIMISTA.....	100
FIGURA 4.27 - DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES NOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE – CENÁRIO PESSIMISTA. ....	101
FIGURA 4.28 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS CVO/TMB - CENÁRIO OTIMISTA. ....	104
FIGURA 4.29 - EMISSÕES EVITADAS NAS CVO/TMB - CENÁRIO OTIMISTA.....	106
FIGURA 4.30 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014-2020 NAS CVO/TMB - CENÁRIO PERSU.....	108
FIGURA 4.31 - EMISSÕES EVITADAS NAS CVO/TMB - CENÁRIO PERSU.....	110
FIGURA 4.32 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 2014-2020 NAS CVO/TMB - CENÁRIO PESSIMISTA.....	112
FIGURA 4.33 - EMISSÕES EVITADAS NAS CVO/TMB - CENÁRIO PESSIMISTA.....	114
FIGURA 4.34 - INCINERAÇÃO - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA. ....	117
FIGURA 4.35 - INCINERAÇÃO - EMISSÕES ASSOCIADAS E EVITADAS 2014-2020 - CENÁRIO OTIMISTA. ....	118
FIGURA 4.36 - INCINERAÇÃO - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	120
FIGURA 4.37 - INCINERAÇÃO - EMISSÕES ASSOCIADAS E EVITADAS 2014-2020 - CENÁRIO PERSU. ....	122
FIGURA 4.38 - INCINERAÇÃO - ENERGIA ELÉTRICA TOTAL PRODUZIDA 2014-2020 - CENÁRIO PESSIMISTA.....	124
FIGURA 4.39 - INCINERAÇÃO - EMISSÕES ASSOCIADAS E EVITADAS 2014-2020 - CENÁRIO PESSIMISTA.....	126



# Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – EMPRESAS GESTORAS DE RU, ATERROS SANITÁRIOS, CVO OU TMB E CVE’S ASSOCIADAS A CADA EMPRESA. ....	15
TABELA 2.2 - QUADRO SUMÁRIO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ATIVIDADE ACEITÁVEL DE BACTÉRIAS FORMADORAS DE METANO E PRODUÇÃO DE METANO NA DIGESTÃO ANAERÓBIA (GERARDI, 2003).....	31
TABELA 2.3 – LEGISLAÇÃO ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS..	42
TABELA 2.4 – EMISSÕES ATMOSFÉRICAS GERADAS NAS INSTALAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS EM ENERGIA (ZAMAN, 2009). ....	44
TABELA 3.1 - CENÁRIOS E SUA ARTICULAÇÃO COM AS INSTALAÇÕES DE DEPOSIÇÃO FINAL DOS RU, CÁLCULOS E OBJETIVO FINAL.....	48
TABELA 3.2 - QUADRO RESUMO DOS CENÁRIOS CRIADOS – ENERGIA ELÉTRICA.....	48
TABELA 3.3 - QUADRO RESUMO DOS CENÁRIOS CRIADOS - EMISSÕES.....	49
TABELA 3.4 – INTERVALOS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA (DADOS EGF, 2014). ...	52
TABELA 3.5 – INTERVALOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA (DADOS EGF, 2014). ....	52
TABELA 3.6 – FÓRMULAS APLICADAS AO CÁLCULO DO POTENCIAL DE ENERGIA PRODUZIDA NOS ATERROS SANITÁRIOS.....	63
TABELA 4.1 – PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS NO LANDGEM. ....	71
TABELA 4.2 – ANO DE FECHO DOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA NORTE.....	76
TABELA 4.3 - ANO DE FECHO DOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA CENTRO E LVT. ....	80
TABELA 4.4 - ANO DE FECHO DOS ATERROS SANITÁRIOS DA ZONA DO ALENTEJO E ALGARVE. ....	84
TABELA 4.5 - TIPOS DE MOTORES QUE PODEM SER INSTALADOS (GE INFRASTRUCTURE, S.D.). ....	86
TABELA 4.6 - RECOMENDAÇÕES - INSTALAÇÃO DE NOVOS MOTORES PARA MELHOR APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS – CENÁRIO OTIMISTA.....	86
TABELA 4.7 - QUANTIDADES DE RUB QUE DÃO ENTRADA NO DIGESTOR POR ANO (T RUB). ....	102
TABELA 4.8 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DAS CVO/TMB - CENÁRIO OTIMISTA. ....	103
TABELA 4.9 - RECOMENDAÇÕES - INSTALAÇÃO DE NOVOS MOTORES PARA MELHOR APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO ATRAVÉS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA - CENÁRIO OTIMISTA. ....	107
TABELA 4.10 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DAS CVO/TMB - CENÁRIO PERSU. ....	107
TABELA 4.11 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DAS CVO/TMB - CENÁRIO PESSIMISTA. ....	111
TABELA 4.12 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CTRSU PERTENCENTE À VALORSUL - CENÁRIO OTIMISTA. ....	115
TABELA 4.13 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CVE MAIA PERTENCENTE À LIPOR - CENÁRIO OTIMISTA. ....	116
TABELA 4.14 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CTRSU PERTENCENTE À VALORSUL - CENÁRIO PERSU.....	119
TABELA 4.15 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CVE MAIA PERTENCENTE À LIPOR - CENÁRIO PERSU.....	119

TABELA 4.16 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CTRSU PERTENCENTE À VALORSUL - CENÁRIO PESSIMISTA. ....	123
TABELA 4.17 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAÇÃO DA INCINERADORA CVE MAIA PERTENCENTE À LIPOR - CENÁRIO PESSIMISTA. ....	123
TABELA 4.18 – TABELA SÍNTESE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TODOS OS CENÁRIOS (VALORES EM GWH). .....	128
TABELA 4.19 - TABELA SÍNTESE DAS EMISSÕES ASSOCIADAS EM TODOS OS CENÁRIOS.....	129
TABELA 4.20 - TABELA SÍNTESE DAS EMISSÕES LÍQUIDAS DE CO <sub>2</sub> EM TODOS OS CENÁRIOS (VALORES EM KTCO <sub>2EQ</sub> ). .....	130
TABELA 4.21 - TABELA SÍNTESE DAS EMISSÕES EVITADAS (VALORES EM KTCO <sub>2EQ</sub> ).....	131

## Simbologia

Abreviatura	Designação
<b>AGV</b>	Ácidos Gordos Voláteis
<b>AIA</b>	Avaliação de Impacte Ambientais
<b>APA</b>	Agência Portuguesa do Ambiente
<b>AS</b>	Aterro Sanitário
<b>CO<sub>2eq</sub></b>	Dióxido de Carbono Equivalente
<b>CO<sub>tim</sub></b>	Cenário Otimista
<b>COV</b>	Compostos Orgânicos Voláteis
<b>COVNM</b>	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
<b>CPer</b>	Cenário PERSU
<b>CPess</b>	Cenário Pessimista
<b>CTRSU</b>	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos
<b>CVE</b>	Central de Valorização Energética
<b>CVO</b>	Central de Valorização Orgânica
<b>DPSIR</b>	<i>Driving Forces, Pressure, States, Impacts and Responses</i>
<b>EGF</b>	Empresa Geral do Fomento, EP
<b>ENRRUBDA</b>	Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados a Aterro
<b>ERSE</b>	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
<b>ETVO</b>	Estação de Tratamento e Valorização Orgânica
<b>FER</b>	Fontes de Energia Renovável

<b>GEE</b>	Gases com Efeito de Estufa
<b>Gg</b>	Gigagrama
<b>GW</b>	GigaWatt
<b>Incin.</b>	Incineração
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatística
<b>kg</b>	Quilograma
<b>kW</b>	Quilowatt
<b>LandGEM</b>	Modelo da US <i>Environmental Protection Agency</i>
<b>LER</b>	Lista Europeia de Resíduos
<b>LVT</b>	Lisboa e Vale do Tejo
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>Mg</b>	Megagrama
<b>MW</b>	Megawatt
<b>nPTN</b>	Condições normais de pressão e temperatura
<b>NUTS</b>	Unidades Territoriais para fins estatísticos
<b>PCI</b>	Poder Calorífico Inferior
<b>PCIP</b>	Prevenção e Controlo Integrados da Poluição
<b>PERSU</b>	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
<b>PNAEE</b>	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
<b>PNAER</b>	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
<b>ppmv</b>	Parte por milhão volátil
<b>PRE</b>	Produção em Regime Especial
<b>PRO</b>	Produção em Regime Ordinário
<b>RA</b>	Resíduo Agrícola

<b>RCP</b>	Resíduos de Controlo de Poluição
<b>REN</b>	Redes Energéticas Nacionais
<b>RGGR</b>	Regime Geral da Gestão de Resíduos
<b>RH</b>	Resíduos Hospitalares
<b>RI</b>	Resíduos Industriais
<b>RNT</b>	Rede Nacional de Transporte
<b>RU</b>	Resíduos Urbanos
<b>RUB</b>	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
<b>STAL</b>	Sistema de Tratamento de Águas Lixiviantes
<b>tCO<sub>2</sub></b>	Tonelada de CO <sub>2</sub>
<b>TMB</b>	Tratamento Mecânico Biológico
<b>UE</b>	União Europeia
<b>USEPA</b>	<i>US Environmental Protection Agency</i>
<b>UTMB</b>	Unidade de Tratamento Mecânico Biológico





# 1 Introdução

Os resíduos, há décadas atrás, eram encarados como algo sem valor. Este paradigma porém viria a modificar-se. Em 1996 existiam cerca de 341 lixeiras ativas; em 2002 estas foram totalmente erradicadas e os resíduos urbanos passaram a ser encaminhados para aterros onde, nos dias de hoje, já são valorizados. (Cabeças, 2005) O seu aproveitamento pode ser efetuado a vários níveis, nomeadamente através da produção de energia elétrica.

Neste capítulo irá ser feito um enquadramento do tema, bem como a explicação dos objetivos e motivações da realização deste trabalho. A estrutura e organização da dissertação serão também abordadas fazendo-se uma breve descrição do que será apresentado em cada temática ao longo do documento.

## ***1.1 Enquadramento***

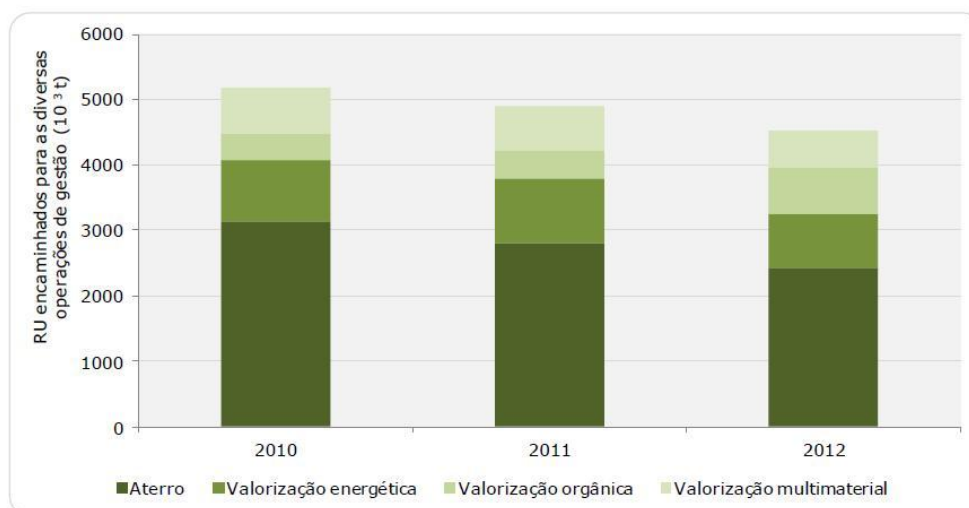
Segundo o modelo DPSIR, modelo causal que pretende descrever as interações entre a sociedade e o ambiente, sendo este considerado um modelo de pressão-estado-resposta, a produção de resíduos urbanos é considerado um indicador de pressão ambiental. Este indicador é calculado tendo como base a quantificação dos resíduos produzidos na fonte. No entanto fazer uma análise tendo apenas como base a produção de resíduos na fonte poderá ser enganador uma vez que os efeitos no ambiente dependem de vários fatores, tais como a perigosidade, o manuseamento, o tratamento e a deposição final dos resíduos. A representatividade destes indicadores deverá ser o mais homogênea possível de forma a conseguir fazer uma análise comparativa com outras atividades e setores.

O investimento e adoção de políticas de regulamentação e gestão no que se refere à prevenção, valorização, tratamento e destino final dos resíduos tem vindo a crescer com alguma rapidez nas últimas décadas, em grande parte devido à influência de políticas europeias. O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) foi o primeiro plano aprovado em 1997 e configurou-se como um documento de referência na área dos resíduos urbanos. Este veio ditar

o encerramento das lixeiras, a criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de RU (sistemas plurimunicipais), a construção de infraestruturas de valorização e eliminação, e, a criação de sistemas de recolha seletiva multimaterial. O PERSU forneceu ainda linhas de orientação geral para a criação dos fluxos especiais de resíduos, abrindo caminho à criação de legislação específica e à constituição e licenciamento das respetivas entidades gestoras. O impacto deste plano foi bastante positivo uma vez que em 2002 já se tinham encerrado todas as lixeiras e os resíduos já estavam a ser geridos de forma mais controlada. Tendo expirado o período de dez anos inicialmente estipulado para as metas definidas, foi criado um outro documento de continuação, o PERSU II (2007-2016). O PERSU II estabelece as prioridades a observar no domínio dos RU, as metas a atingir, as ações a implementar e as regras orientadoras da disciplina a definir pelos planos multimunicipais, intermunicipais e municipais de ação.

O PERSU II definiu linhas para a hierarquização das operações de gestão de resíduos tendo sempre como objetivo a utilização dos resíduos como recursos, sendo que o objetivo final seria a minimização da deposição em aterro. Porém, em Portugal Continental, a deposição em aterro ainda ocupa uma grande percentagem do destino final dos resíduos, sendo que 53,6% dos resíduos urbanos são depositados em aterro, 18,2% são valorizados energeticamente, 15,7% são valorizados organicamente e 12,7% correspondem à valorização multimaterial (Alvarenga *et al*, 2013).

Efetuando uma análise da Figura 1.1 é possível constatar que entre os anos de 2010 e 2012 se registou uma diminuição da produção de resíduos urbanos, passando de 5.184 milhões de toneladas em 2010 para 4.528 milhões de toneladas em 2012. Observa-se também uma redução de 22,8% do total de resíduos depositados em aterro (contra os 13,8% registados em 2011). Tal implicou uma redução de 11,9% de resíduos valorizados energeticamente (contra os 15,9% registados em 2011), um decréscimo de 21,2% de resíduos sujeitos a valorização multimaterial (contra os 14,7% registados em 2011), e um aumento bastante significativo de 82,2% de resíduos alvo de valorização orgânica (contra os 61,8% registados em 2011) - facto muito provavelmente relacionado com o início de funcionamento de novas unidades/linhas de valorização orgânica (Alvarenga *et al*, 2013).



**Figura 1.1 – Resíduos Urbanos encaminhados para as diversas operações de gestão (Alvarenga *et al*, 2013).**

A utilização dos resíduos para produção de eletricidade, segundo o Relatório de Estado do Ambiente 2013 desenvolvido pela APA juntamente com o Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, encontra-se inserida no indicador do modelo de DPSIR: Energias Renováveis, sendo este considerado um indicador de resposta (Alvarenga *et al*, 2013). A utilização e aposta nos recursos renováveis constitui a resposta à dependência energética de Portugal relativamente ao exterior, sendo que atualmente, o setor dos transportes é o setor mais dependente de combustíveis fósseis. Em 2012, Portugal apresentou valores de dependência ligeiramente superiores a 2011 (79,8% contra os 79,3% relativos a 2011). Os objetivos traçados para este setor centram-se na diversificação das fontes primárias de energia e no aumento da eficiência energética do país. Para colmatar e tentar cumprir os objetivos traçados, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de Abril, aprovou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020).

Sendo os resíduos urbanos um recurso relevante para a produção de energia, optou-se por fazer uma análise do potencial deste mesmo recurso tendo como horizonte de análise o ano de 2020.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo principal deste estudo é fazer uma análise da previsão da produção de energia elétrica potencial através dos resíduos urbanos em Portugal Continental, tendo como horizonte de estudo 2014-2020. A valorização energética através dos resíduos urbanos tem três vertentes que podem ser analisadas:

- O aproveitamento energético através do biogás gerado nos aterros sanitários,
- O aproveitamento energético do biogás produzido através da digestão anaeróbia nas CVO/TMB e,
- O aproveitamento energético do calor gerado através da queima dos RU nas unidades de tratamento por incineração.

A análise no mesmo período de tempo das emissões associadas e evitadas em cada uma destas situações também será objeto de estudo no presente trabalho.

Por forma a cumprir o objetivo principal do trabalho pretende-se fazer a avaliação de três cenários distintos:

- Cenário Otimista – Cenário ideal mas não realista, na medida em que os parâmetros analisados são demasiado otimistas para a realidade,
- Cenário PERSU – Cenário real analisando as metas e medidas definidas pelo PERSU II e PERSU 2020, e
- Cenário Pessimista – Cenário pouco provável de acontecer, mas eventualmente pode vir a ocorrer se nenhuma das medidas do PERSU vier a ser implementada.

## **1.3 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco grandes capítulos:

### **1. Introdução**

Neste capítulo é feito um pequeno enquadramento da situação atual de Portugal Continental relativamente à produção de resíduos, são expostos os objetivos do trabalho desenvolvido, encerrando-se com uma pequena síntese do documento geral.

## 2. Revisão da Literatura

Incidem nos fundamentos teóricos da temática desenvolvida. Efetua-se o enquadramento da gestão de resíduos, descrevendo-se também com algum pormenor as instalações de tratamento de resíduos urbanos. A produção de energia elétrica através das energias renováveis e a emissão de gases com efeito de estufa, associados às instalações de transformação de resíduos em energia, são também duas temáticas abordadas neste capítulo.

## 3. Metodologia

Descreve toda a metodologia adotada para o processo de cálculo da energia elétrica produzida, emissões associadas e evitadas nos aterros sanitários, CVO/TMB e incineração.

## 4. Resultados e Discussão

São apresentados os resultados obtidos para todas as operações estudadas (aterros sanitários, CVO/TMB e incineração) divididos por cenários.

## 5. Considerações Finais

São apresentadas as conclusões mais relevantes e sugestões quanto a desenvolvimentos futuros, identificando-se as principais limitações.



## 2 Revisão da Literatura

Neste capítulo pretende-se fazer um enquadramento do estudo desenvolvido nesta dissertação através da apresentação de alguns conceitos base que auxiliarão a compreensão do trabalho.

A eletricidade constitui-se como um bem essencial, a sua produção tem diversas fontes e nesta dissertação irá ser abordada a produção de energia elétrica através de resíduos urbanos (aterros, digestão anaeróbia e incineração). Os resíduos urbanos podem ser considerados um importante recurso renovável se corretamente geridos.

Este capítulo encontra-se organizado por sete seções, do capítulo 2.1 ao 2.5 efetua-se um enquadramento da gestão de resíduos e a descrição pormenorizada das instalações de tratamento de resíduos urbanos. Os capítulos 2.6 e 2.7 dizem respeito à produção de energia elétrica através das energias renováveis em Portugal Continental e às emissões de gases com efeito de estufa associadas às instalações de transformação de resíduos urbanos em energia, respetivamente.

### ***2.1 Caracterização dos Resíduos***

Os resíduos englobam diversas tipologias e podem classificar-se de acordo com as suas origens sendo mais comum categorizá-los como:

- Resíduos Agrícolas (RA),
- Resíduos Industriais (RI),
- Resíduos Hospitalares (RH),
- Resíduos Urbanos (RU)

Entre outros, cujas definições podem ser encontradas no Decreto-Lei n.º 73/2011, os resíduos também podem ser classificados segundo a sua perigosidade: resíduos perigosos, resíduos não perigosos e resíduos inertes. Todas as categorias de resíduos encontram-se discriminadas na existente Lista

Europeia de Resíduos (Código LER), aprovada pela Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março.

A definição de resíduo varia consoante o país, refletindo diferentes práticas de gestão de resíduos (EEA, 2013). Deste modo, para que haja uma definição ao nível europeu, o Eurostat define o resíduo urbano como (EEA, 2013):

“Resíduo produzido principalmente nas habitações, embora estejam também incluídos resíduos semelhantes provenientes de outras fontes como comércio, escritórios e instituições públicas. A quantidade de resíduos urbanos produzidos consiste nos resíduos recolhidos pelas autoridades municipais, ou em seu nome, e tratados através do sistema de gestão de resíduos”.

Em Portugal, segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011:

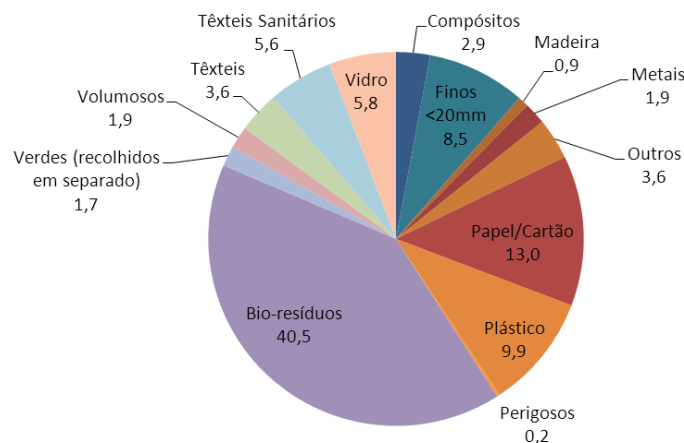
“«Resíduo» é qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos”.

A uniformização da composição de RU é difícil de obter uma vez que as principais propriedades que permitem caracterizá-los (a massa volúmica e a composição física) variam consoante o tipo de ocupação/aglomerados populacionais, os hábitos da população no local de produção, bem como o período do ano em que estes são produzidos (Vitorino, 2008). Ter conhecimento da caracterização física dos resíduos constitui um parâmetro importante, tornando possível efetuar uma avaliação das frações de resíduos valorizáveis, contribuindo-se para a diminuição do envio para aterro de recursos.

Na Figura 2.1 são apresentados os resultados da caracterização física dos RU produzidos em Portugal Continental no ano de 2011, elaborada com base nas especificações técnicas da Portaria n.º 851/2009, de 7 de Agosto. A fração bio-resíduos é a fração com maior peso, representando 40,5% do total de resíduos urbanos produzidos em Portugal, esta fração possui uma elevada fração orgânica que poderá ser aproveitada para a produção de energia elétrica. De destacar também as frações de papel/cartão, plástico e finos com as percentagens mais elevadas, 13%, 9,9% e 8,5% respetivamente. Por outro lado, é possível constatar que os resíduos com menor peso na produção de resíduos urbanos são os



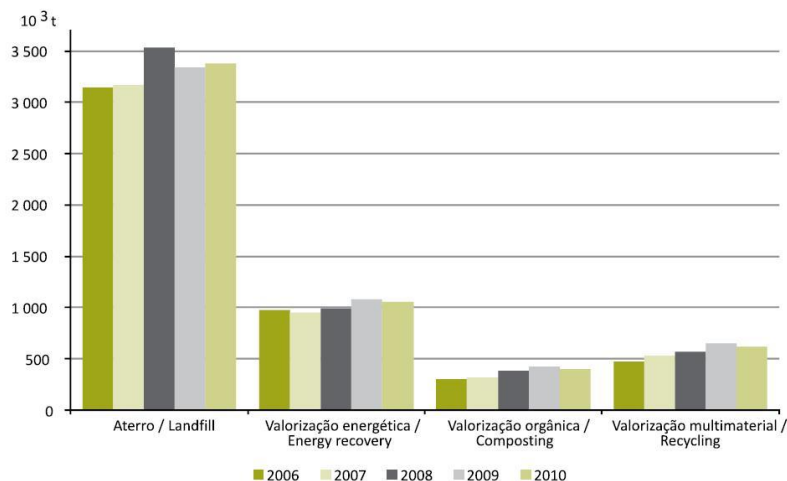
resíduos perigosos, madeira e metais com percentagens de 0,2%, 0,9% e 1,9%, respetivamente.



**Figura 2.1- Caracterização física média dos RU produzidos em 2011 em Portugal Continental.**  
(APA, 2013a)

Em 2010, embora as quantidades de resíduos recolhidos para valorização orgânica e valorização multimaterial (reciclagem) tenham aumentado de forma mais acentuada do que as quantidades globais de resíduos gerados, verifica-se que cerca de 3/5 dos resíduos urbanos recolhidos foram encaminhados para deposição em aterro, operação que constitui a última prioridade na gestão dos resíduos. Em termos relativos e numa ótica estrutural, no período em análise a deposição de resíduos em aterro perde ligeiramente significado ao cair 2,2 pontos percentuais (64,2% para 62,0%) e o conjunto das valorizações orgânica e multimaterial regista uma subida de 2,8 pontos percentuais (de 15,9% para 18,7%) (INE, 2012).

Na Figura 2.2, é apresentado um gráfico onde é possível analisar o destino final dos resíduos urbanos no período 2006-2010, sendo possível concluir que a tendência de crescimento no período em análise não apresenta uma tendência linear, registando-se em termos médios, um crescimento de produção de resíduos de cerca de 3% ao ano. (INE, 2012)



**Figura 2.2 – Destino final dos resíduos urbanos no período de análise de 2006-2010 (APA&INE in INE, 2012).**

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA):

“A produção total de resíduos urbanos (RU) em Portugal Continental foi, no ano 2012, de aproximadamente 4,528 milhões de toneladas, o que corresponde a uma captação anual de 454 kg/hab.ano, ou seja, uma produção diária de RU de 1,24 kg por habitante” (APA, 2013b).

## ***2.2 Gestão de Resíduos em Portugal***

A gestão de resíduos é entendida como um conjunto de atividades de caráter técnico, administrativo e financeiro, cujo objetivo final será a deposição, recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos. Toda a gestão inclui o planeamento, fiscalização e monitorização dessas operações. É necessário que todas as operações sejam devidamente controladas para que se evitem impactes negativos no ambiente. O regime geral de gestão de resíduos foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro, na redação dada pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho (diploma RGGR), transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro.

Um Sistema Integrado de Resíduos Urbanos deverá ter como suporte um Modelo de Gestão Institucional e/ou Privado e enquadrado num Sistema Financeiro que lhe confira sustentabilidade operacional tendo sempre em conta o princípio do poluidor/pagador. Na Figura 2.3 encontram-se sintetizadas as

etapas parciais que permitem garantir o tratamento, destino final dos resíduos urbanos e a sua valorização.

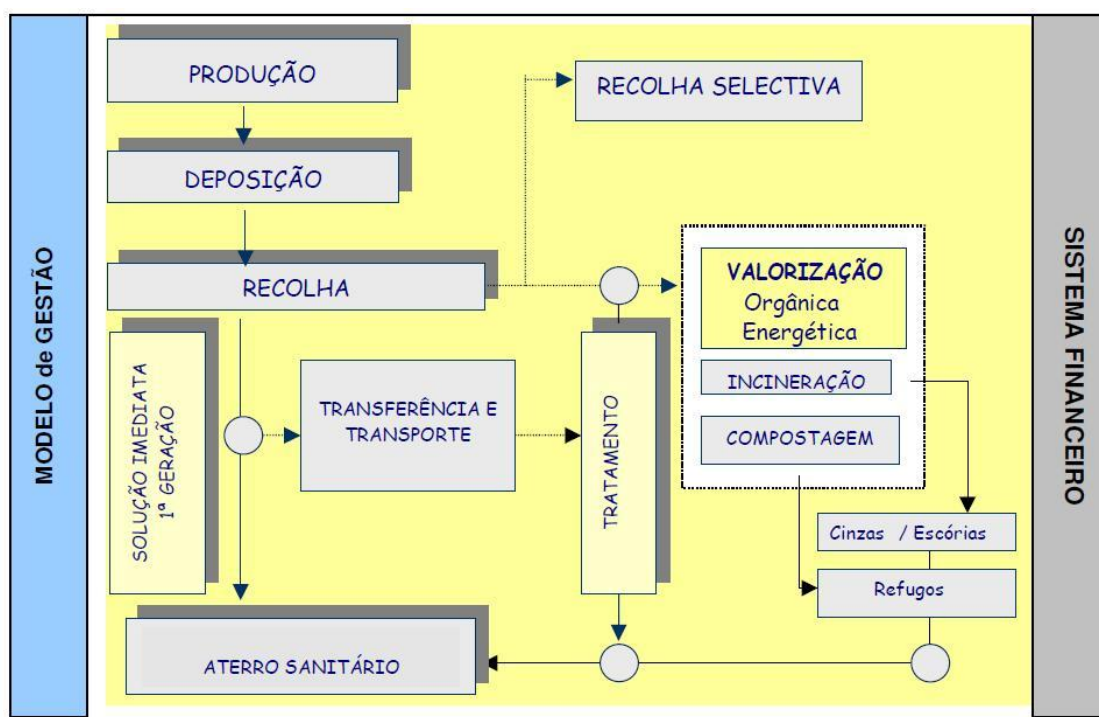


Figura 2.3 – Sistema Integrado de Resíduos Urbanos (Cabeças A. J., 2005).

Em 1997, foi aprovado pelo Governo o primeiro Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) tendo-se configurado como um instrumento de referência na área dos RU. As ações por ele delineadas foram cumpridas com sucesso, sendo que as lixeiras foram todas eliminadas do país, tendo-se criado sistemas multimunicipais e intermunicipais para a gestão de resíduos. Foram igualmente tomadas medidas para a construção de infraestruturas de valorização e eliminação, bem como a constituição e licenciamento de entidades gestoras de fluxos especiais de resíduos.

De forma a manter o PERSU atualizado e em concordância com o Quadro de Referência Estratégico Nacional e a Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Biodegradáveis Destinados aos Aterros (ENRRUBDA), a 28 de Dezembro de 2006 foi aprovado um novo plano, o PERSU II. Este define as prioridades e metas a serem atingidas para o horizonte 2007-2016 em matéria de resíduos urbanos, sendo importante salientar as suas grandes linhas orientadoras

(Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, 2007):

- Reduzir, reciclar e reutilizar;
- Separação na fonte;
- Articulação com outros documentos estratégicos aprovados pelo Governo;
- Minimização da deposição em aterro;
- Prevenção da deposição e valorização energética da fração não reciclável;
- Procura da sustentabilidade nos três pilares – ambiente, económico e social;
- Envolvimento de todas as partes interessadas no setor dos resíduos

Foram introduzidas no PERSU II novas perspetivas de gestão de resíduos tendo como base a hierarquia de resíduos (Figura 2.4).



**Figura 2.4 – Hierarquia de gestão de resíduos (Ferrão & Pinheiro, 2011).**

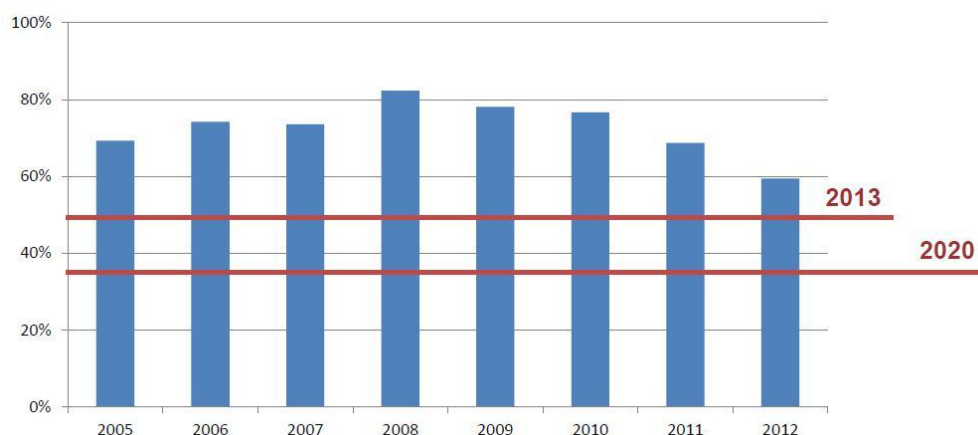
Observou-se porém uma dificuldade na minimização da deposição em aterro: segundo dados divulgados pela APA:

“Em 2012, os resíduos urbanos (RU) produzidos em Portugal Continental (4,528 milhões de toneladas) foram sujeitos às seguintes operações de gestão: 53,6% de deposição em aterro, 18,2% de valorização energética, 15,7% de valorização orgânica e a restante fração de 12,4% de valorização multimaterial.” (APA, 2013b).

Neste contexto, têm sido feitos grandes esforços na diminuição da deposição em aterro dos resíduos, sendo que em 2011 a percentagem enviada para aterro

era de 63%. Gradualmente a hierarquia de gestão de resíduos vai ser cumprida se forem construídas as infraestruturas necessárias para a valorização da fração orgânica contida nos resíduos urbanos (os cerca de 40,5% mencionados no capítulo 2.1 na Figura 2.1)

Têm sido feitos acompanhamentos do cumprimento do PERSU II que suportaram o delinear de novas metas para o horizonte 2014-2020 (Figura 2.5)



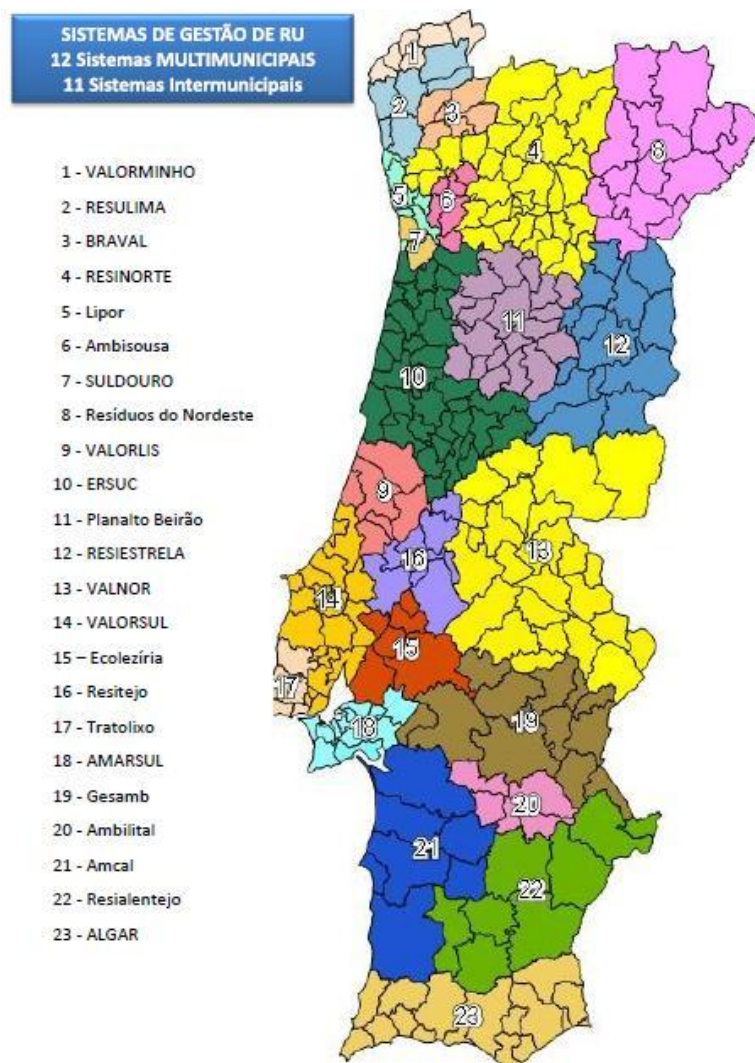
**Figura 2.5 - Metas de RUB depositado em aterro (%1995) (Comissão de acompanhamento grupo trabalho operacional, 2013).**

Segundo o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto que diz:

“Até **Julho de 2020**, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para **35%** da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.”

### **2.2.1 Caracterização dos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos**

Atualmente os resíduos produzidos em Portugal Continental são geridos por 23 sistemas de gestão de RU, 12 multimunicipais e 11 intermunicipais (APA, 2013a), representados na Figura 2.6. Na Região Autónoma da Madeira foi criada a Valor Ambiente, Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A. e na Região Autónoma dos Açores a gestão de resíduos está a cargo dos próprios municípios.



**Figura 2.6 - Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (APA, 2013a).**

A cada sistema de gestão está associado um ou mais aterros, Centrais de Valorização Orgânica (CVO), Tratamento Mecânico Biológico (TMB) ou Centrais de Valorização Energética (CVE) - Incineração. Na Tabela 2.1 encontram-se discriminados todos os aterros existentes em Portugal Continental bem como CVO, TMB e CVE existentes.

**Tabela 2.1 – Empresas gestoras de RU, Aterros Sanitários, CVO ou TMB e CVE's associadas a cada empresa.**

Zona	Nome da empresa de gestão de RU	Nome do Aterro Sanitário	Nome da CVO ou TMB	Nome da CVE
Norte	Valorminho	Aterro de Valença	N.A.	N.A.
Norte	Resulima	Aterro de Vale do Lima e Baixo Cávado	TMB Resulima (em fase de construção)	N.A.
Norte	Braval	Aterro de Póvoa de Lanhoso	N.A.	N.A.
Norte	Resinorte	Aterro de Codessoso	N.A.	N.A.
		Aterro de Bigorne	N.A.	N.A.
		Aterro de Boticas	N.A.	N.A.
		Aterro de Santo Tirso	N.A.	N.A.
		Aterro de Vila Real	N.A.	N.A.
Norte	Lipor	Aterro da Maia	N.A.	Central de Valorização Energética da Maia
		Aterro de Ermesinde	N.A.	N.A.
		Aterro de Matosinhos	N.A.	N.A.
Norte	Ambisousa	Aterro da Lustosa	N.A.	N.A.
		Aterro de Penafiel	N.A.	N.A.
Norte	Suldouro	Aterro de Sermonde	CVO de Sermonde	N.A.
		Novo Aterro - Gestal	N.A.	N.A.
Norte	Resíduos do Nordeste	Aterro de Urjais	UTMB de Urjais (em fase de arranque)	N.A.
Centro e LVT	Valorlis	Aterro de Leiria	CVO de Leiria	N.A.
Centro e LVT	ERSUC	Aterro de Aveiro	TMB de Aveiro	N.A.
		Aterro de Coimbra	TMB de Coimbra	N.A.
		Aterro da Figueira da Foz	N.A.	N.A.
Centro e LVT	Planalto Beirão	Aterro de Tondela	CVO da Planalto Beirão	N.A.
Centro e LVT	Resiestrela	Aterro do Fundão	N.A.	N.A.
Centro e LVT	Valorsul	Aterro de Mato da Cruz	ETVO da Valorsul	CTRSU da Valorsul
		Aterro do Oeste	N.A.	N.A.
Centro e LVT	Tratolixo	Aterro de Trajouce	N.A.	N.A.
		Confinamento técnico da Abrunheira	Central de Digestão Anaeróbia da Abrunheira	N.A.
		Aterro do Seixal	CVO da Amarsul (em fase de construção)	N.A.
Centro e LVT	Amarsul	Aterro de Palmela	N.A.	N.A.
		Aterro de Abrantes	N.A.	N.A.
		Aterro de Avis	CVO de Avis	N.A.
Alentejo e Algarve	Valnor			
Alentejo	Ecolezíria	Aterro da Raposa	N.A.	N.A.

Zona	Nome da empresa de gestão de RU	Nome do Aterro Sanitário	Nome da CVO ou TMB	Nome da CVE
e Algarve				
Alentejo e Algarve	Resitejo	Aterro da Resitejo	N.A.	N.A.
Alentejo e Algarve	Gesamb	Aterro de Évora	N.A.	N.A.
Alentejo e Algarve	Ambilital	Aterro de Santiago do Cacém	N.A.	N.A.
Alentejo e Algarve	Amcal	Aterro de Cuba	N.A.	N.A.
Alentejo e Algarve	Resialentejo	Aterro do Alentejo	N.A.	N.A.
Alentejo e Algarve	Algar	Aterro do Barlavento	TMB do Barlavento (em fase de construção)	N.A.
		Aterro do Sotavento	TMB de São Brás de Alportel (em fase de construção)	N.A.

N.A. – Não Aplicável

Portugal Continental possui 38 aterros sanitários, 9 CVO/TMB já em operação, 4 CVO/TMB que em breve serão construídas e 2 CVE.

## 2.3 Deposição em Aterros Sanitários

### 2.3.1 Considerações gerais

Um aterro sanitário segundo o Decreto-Lei n.º 84/2011 de 20 de Junho define-se como uma instalação de eliminação de resíduos através da sua deposição acima ou abaixo da superfície natural.

Os aterros sanitários podem ser classificados segundo as três classes seguintes (Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999):

- Aterros Sanitários para resíduos perigosos
- Aterros Sanitários para resíduos não perigosos (onde estão incluídos os RU)



- Aterros Sanitários para resíduos inertes

Os fluxos de entrada e saída num aterro sanitário estão apresentados na Figura 2.7. Num aterro sanitário entram os resíduos urbanos em bruto, ou seja, estes antes de serem depositados não sofrem qualquer tipo de seleção/tratamento. Devido ao facto de estes sistemas se encontrarem em locais controlados mas ao ar livre, permite a receção de águas pluviais que entrando em contato com os resíduos urbanos acabarão por se transformar em águas lixiviantes. O biogás resulta da degradação da matéria orgânica que é depositada no aterro. Este possui uma elevada quantidade de metano e é considerado um gás prejudicial devido ao seu elevado potencial de aquecimento.



Figura 2.7 – Fluxos de entrada e saída num aterro sanitário.

Os aterros sanitários podem ser considerados bio-reactores onde os RU, durante a sua vida útil (que pode ir para além dos cinquenta anos), sofrem um conjunto de transformações sucessivas ao longo do tempo até atingirem a fase de maturação e inertização (Cabeças, 2005). Até atingirem a fase da inertização acontecem variadas reações metabólicas as quais se denominam digestão anaeróbia. Posto isto, é muito importante garantir que o tratamento dos resíduos e a gestão do aterro sejam efetuados de forma controlada, seguindo rigorosas monitorizações ao longo do tempo em que está a ser realizada a sua exploração e após o seu fecho.

A construção destas infraestruturas tem como finalidade a limitação, tanto quanto possível, dos impactes negativos sobre o ambiente.

### 2.3.2 Legislação

Em termos de documentos legislativos relativamente à deposição de resíduos em aterro existe uma diretiva europeia, a Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, representando assim a principal referência

legal nesta matéria. Esta foi transposta para o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, revogado pelo Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 84/2011, de 20 de Junho que tem por objetivo evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre o ambiente da deposição de resíduos em aterro, quer à escala local, em especial a poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana. Para efeitos da redução dos resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro são fixados os seguintes objetivos:

a) Até Julho de 2013, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 50% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995;

b) Até Julho de 2020, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35 % da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

Os aterros têm ainda de cumprir as exigências impostas no Decreto-Lei n.º 69/2000 de 3 de Maio, relativo à Avaliação de Impacte Ambiental (AIA), Decreto-Lei n.º 173/2008 de 26 de Agosto, relativo à prevenção e controlo integrados da poluição (PCIP) e o Decreto-Lei n.º 147/2008 de 29 de Julho, relativo à responsabilidade por danos ambientais.

### **2.3.3 Infraestrutura**

Um aterro sanitário para que possa ser aproveitado e gerido da melhor forma deve ser concebido através de um conjunto de alvéolos que permitam a criação de setores de enchimento independentes. Desta forma, o enchimento de cada alvéolo pode ser efetuado independentemente, passando-se para o seguinte à medida que as cotas superiores forem atingidas (Cabeças, 2005). Existem vários métodos para a deposição dos resíduos no aterro, o método tradicional, em que os resíduos são depositados em bruto numa célula diária e posteriormente são compactados e arrumados. Existe o método por enfardamento, em que os RU são compactados num equipamento próprio e de seguida são encaminhados para a frente de trabalho do aterro. Existe o método misto, que é uma mistura dos dois referidos anteriormente e o método com trituração prévia dos resíduos, que, tal

como o nome indica, os RU são triturados junto à zona da frente de trabalho do aterro e aí depositados posteriormente (Cabeças, 2005).

Os resíduos são normalmente compactados a uma densidade húmica de 0,7 – 1,0 toneladas/m<sup>3</sup>. Depois de instalados nas suas células estas são cobertas com terra (Manfredi, 2009). O solo colocado no topo das células não só tem a função de esconder os resíduos como, também serve para controlar o oxigénio e a infiltração da água protegendo assim o ambiente anaeróbio dentro da célula promovendo os processos microbianos (Manfredi, 2009).

No que respeita a sistemas de proteção ambiental, na conceção do aterro é necessário dotá-lo dos seguintes sistemas:

- Sistema de impermeabilização das águas lixiviantes,
- Camadas drenantes,
- Sistema de drenagem de fundo (drenagem das escorrências líquidas),
- Sistema de drenagem de águas pluviais,
- Sistema de captação e regularização que gere o caudal de águas lixiviantes,
- Sistema de tratamento de águas lixiviantes (STAL),
- Sistema periférico de valetas (drenagem das águas pluviais para fora do aterro),
- Sistema de drenagem do biogás e
- Estação de queima do biogás.

Associada a estes sistemas existe uma rede de instalações de apoio (unidade de triagem, pesagem, etc.) e respetivas vias internas (Cabeças, 2005).

O biogás deve ser captado para aproveitamento energético, ou, quando a sua produção for inferior ao economicamente expectável, deve ser queimado a temperaturas superiores a 1.000 °C para que se dê a transformação do metano em CO<sub>2</sub>, reduzindo assim a emissão de gases com efeito de estufa (Russo, 2005).

Após o encerramento operacional do aterro sanitário, devem ser tomadas medidas para a sua cobertura, podendo esta ser feita com impermeabilização total utilizando geossintéticos (porém com desvantagens para a estabilização da componente biodegradável presente), ou adotando uma solução híbrida, que

garanta entradas controladas de humidade para a massa de resíduos. Nesta fase, que pode levar vários anos, devem ser estabelecidos programas de monitorização para se proceder à avaliação do progresso verificado na estabilização da massa de resíduos (Russo, 2005).

### 2.3.4 Processos

A fase aeróbia é a primeira etapa na degradação da matéria orgânica (digestão anaeróbia) apresentando uma curta duração (genericamente caracterizada na fase I da degradação microbiana de resíduos). O oxigénio do ar é o recetor final dos eletrões das reações de oxi-redução. Estas reações são fortemente exotérmicas podendo gerar de 380 kJ a 460 kJ por mole de oxigénio consumido (Pirt 1978; Emberton 1986; Lanini 1998 *in* Russo, 2005). Durante este período são observadas temperaturas elevadas na massa de resíduos, podendo estabelecer-se perfis térmicos característicos (Lanini, 1998; Aguilar-Juarez, 2000 *in* Russo, 2005). Nesta fase ocorre igualmente produção de água e dióxido de carbono.

Em aterro a produção de biogás resulta da fermentação dos resíduos orgânicos através de cinco fases distintas (Tchobanoglous *et al.*, 1993 *in* Russo, 2005). Estas podem ser vistas no gráfico apresentado na Figura 2.8.

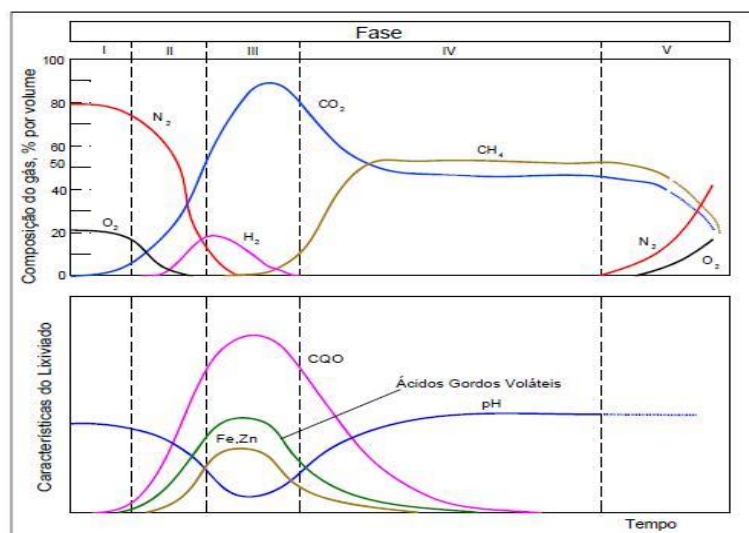


Figura 2.8 – Fases da degradação dos RU em aterro (Adaptado de Tchobanoglous, 1993 *in* Russo, 2005).

- A fase I corresponde ao acondicionamento e ajustamento dos microorganismos correspondendo a uma decomposição biológica em condições aeróbias. Esta fase dura cerca de um mês podendo prolongar-se em aterros de pouca profundidade e onde existe a injeção de ar (Lo, 1996 *in* Tavares, 2013);
- A fase II corresponde ao início da anaerobiose correspondendo a um decaimento do pH dos lixiviados devido à presença de ácidos orgânicos e ao efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> na massa de resíduos (Russo, 2005);
- A fase III ou fase ácida corresponde ao início da produção de metano e dióxido de carbono. O pH dos lixiviados nesta fase é inferior a 5 levando à solubilização de muitos constituintes orgânicos e metais pesados. O lixiviado deverá ser re-circulado, caso contrário os nutrientes fundamentais para o metabolismo dos decompositores, perdem-se no sistema (Russo, 2005);
- A fase IV ou fase metânica corresponde à fermentação metanogénica que ocorre, verificando-se a estabilização das velocidades da produção e composição do biogás. Esta fase pode durar entre cinco a cinquenta anos (Tabasaran, 1981 *in* Tavares, 2013);
- A fase V ou fase de maturação corresponde a um decréscimo considerável da produção de biogás devido à baixa biodegradabilidade dos substratos no aterro; no entanto, os principais gases que predominam são o metano e o dióxido de carbono (Russo, 2005).

A duração das fases descritas anteriormente é variável consoante o tipo de aterro sanitário, da distribuição, quantidade e características da matéria orgânica, bem como dos aspetos meteorológicos (pluviosidade e temperatura) e do modo de operação do aterro (grau de compactação, por exemplo); a falta de água retarda os processos metabólicos; a alta compactação dos resíduos dificulta a chegada de água a toda a matéria orgânica, retardando a degradação (Russo, 2005).

A composição do biogás de aterro é variável, dependendo das condições anaeróbias a que está sujeito, variando entre os 50% e os 60% de  $\text{CH}_4$ .

É durante o período de exploração que a produção de metano é mais estável, tal como é possível visualizar na Figura 2.9. Para que se consiga aproveitar o máximo de biogás possível, os sistemas de captação do biogás devem ser instalados durante o período de exploração do aterro (Cabeças, 2005).

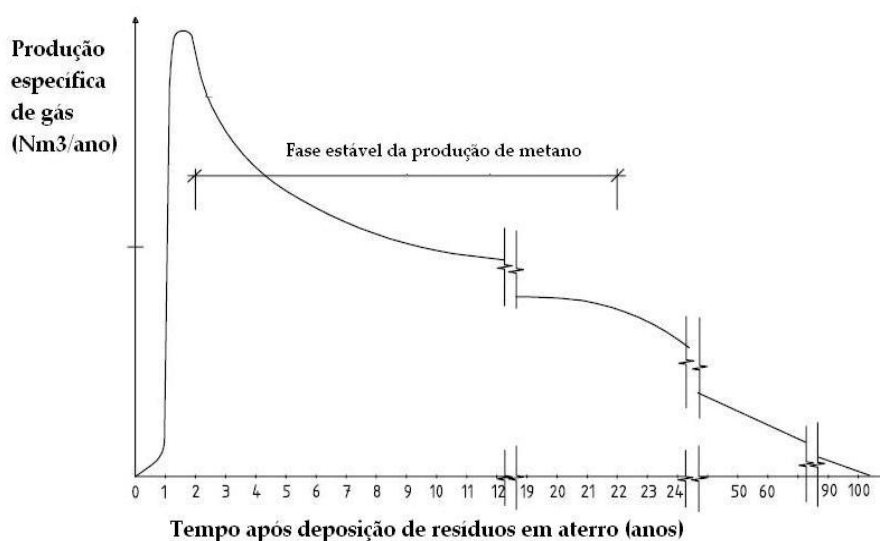
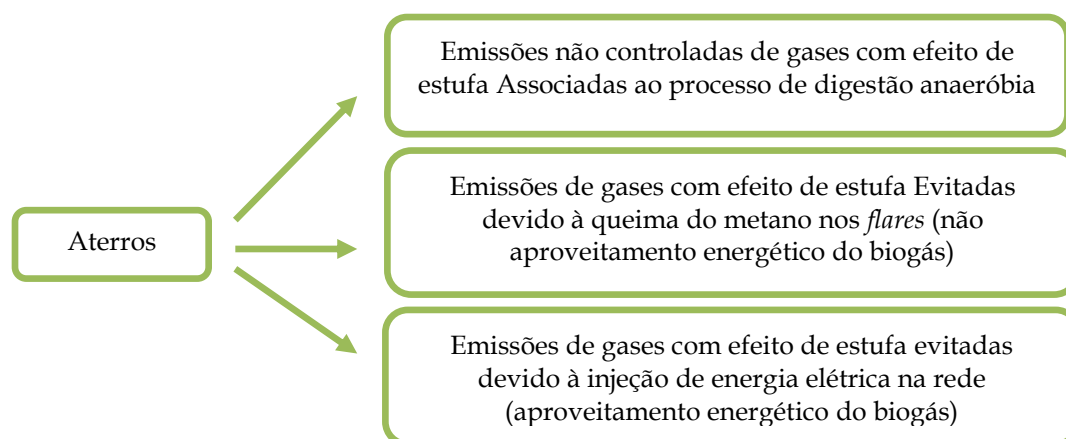


Figura 2.9 – Curva da produção de biogás em aterro (Adaptado de Jensen & Pipatti, 2002).

Em fim de linha, acoplada ao sistema de drenagem e de captação do biogás, deverá ser colocada a unidade de queima (Cabeças, 2005). Esta permite eliminar os odores provenientes do aterro, bem como queimar o metano e transformá-lo em dióxido de carbono, visto que este é um gás muito menos prejudicial à atmosfera, dado o seu menor potencial de aquecimento global quando comparado com o metano.

Nas emissões de gases com efeito de estufa provenientes dos resíduos biodegradáveis o carbono em causa é considerado de origem biogénica, não se considerando haver uma emissão líquida de dióxido de carbono para efeitos de inventário. No caso das emissões de gases com efeito de estufa dos outros tipos de resíduos, como por exemplo, plásticos, vidros, entre outros, o carbono não é de origem biogénica, sendo assim importante a sua contabilização e

inventariação. Como objeto de estudo, as emissões de gases com efeito de estufa associadas, serão consideradas aquelas em que o metano não é passível de captação, sendo estas em termos energéticos consideradas as perdas. A Figura 2.10 sintetiza as emissões esperadas num aterro.



**Figura 2.10 - Emissões de gases com efeito de estufa associadas e evitadas nos aterros sanitários.**

As emissões de gases com efeito de estufa associadas, provenientes dos aterros que efetuam aproveitamento energético do metano gerado, são todas aquelas que não são passíveis de captação através dos sistemas instalados nos aterros e que se libertam na forma de metano para a atmosfera, representando em média 25% do total emitido em aterro. As emissões de gases com efeito de estufa evitadas, provenientes dos aterros, são todas aquelas que são aproveitadas energeticamente ou queimadas, e, representam em média cerca de 75% do total emitido em aterro.

Torna-se difícil quantificar as emissões com um elevado grau de certeza, visto que estas resultam de complexos processos biológicos, que dependem de diversas variáveis, difíceis de prever, que ocorrem ao longo de várias décadas e estão distribuídas por uma vasta área do aterro (Kaplan *et al.*, 2009). Os autores Kaplan *et al.*, 2009 no seu estudo, concluíram que, os aterros são os maiores emissores de metano, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e partículas face à incineração.

As emissões de aterro, nomeadamente de biogás, constituem uma preocupação visto que a sua libertação pode originar efeitos negativos com riscos

associados, nomeadamente, risco de explosão, riscos para a saúde pública, danos na vegetação, poluição das águas subterrâneas, contribuição para o agravamento de efeito de estufa, podendo ainda provocar odores desagradáveis (Cabeças, 2005).

## ***2.4 Deposição em Centrais de Valorização Orgânica ou Tratamento Mecânico Biológico – Digestão Anaeróbia***

### **2.4.1 Considerações gerais**

Nas Centrais de Valorização Orgânica para o tratamento e valorização dos RU podem ser utilizados dois processos: a compostagem e o aproveitamento do biogás oriundo da digestão anaeróbia.

A compostagem é um processo aeróbio (ocorre na presença de oxigénio) e que implica um menor investimento quando comparado com a digestão anaeróbia. Neste processo os Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) decompõem-se obtendo-se assim como produto final um composto higienizado e estabilizado que pode ser utilizado como adubo orgânico (Silvério, 2011). As operações básicas associadas a este tipo de processo são essencialmente o pré-tratamento, que consiste na separação da fração orgânica e homogeneização da mesma. A decomposição da matéria orgânica dá-se em condições de aerobiose, podendo ser feita em pilhas em que o arejamento é efetuado, fazendo um revolvimento periódico durante cerca de dois ou três meses. Em seguida dá lugar a fase de maturação em que as temperaturas da massa em decomposição atingem a temperatura ambiente, ocorrendo a humificação, levando à estabilização do produto final. Por último a massa passa por um processo de afinação que consiste na eliminação de objetos estranhos presentes no composto, tais como vidros, plásticos, entre outros inertes (Silvério, 2011).

A digestão anaeróbia é um processo que ocorre na ausência de oxigénio necessitando assim de equipamentos específicos para que as reações microbianas aconteçam. Como já foi referido no capítulo anterior, os produtos resultantes da digestão são: o biogás que pode ser aproveitado energeticamente e um composto orgânico que poderá ser utilizado na agricultura como adubo fertilizante.



O Tratamento Mecânico Biológico (TMB) é o método de tratamento que combina processos de tratamento mecânico com tratamento biológico. O tratamento mecânico é efetuado pelas crivagens automáticas e aberturas de sacos, aqui é efetuada a remoção dos elementos recicláveis de uma variedade de resíduos (tais como metais, plásticos, vidros e papel). O tratamento biológico consiste na decomposição de matéria orgânica (digestão anaeróbia), transformando-a em composto. O tratamento biológico tem início na entrada dos resíduos no bio-reator/digestor e termina após a afinação secundária.

Na Figura 2.11 - Fluxo de entrada e saída numa CVO ou TMB. Figura 2.11 é possível visualizar o fluxo de entrada e de saída numa CVO/TMB. Nestas unidades, os resíduos urbanos já necessitam de ser separados previamente, visto que aqui só entra matéria orgânica. Da digestão anaeróbia da matéria orgânica resulta o biogás e um composto que poderá ser utilizado como fertilizante na agricultura.



**Figura 2.11 - Fluxo de entrada e saída numa CVO ou TMB.**

A aposta neste tipo de tratamento permite aumentar a vida útil dos aterros ainda disponíveis, dando cumprimento aos objetivos e metas definidos no Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II), para além de permitir a redução da libertação de gases com efeito de estufa e promovendo a produção de eletricidade a partir de fontes endógenas.

### **2.4.2 Legislação**

Tal como os aterros, as CVO/TMB também têm de estar regulamentadas na medida em que a sua atividade poderá de alguma forma afetar as populações vizinhas ou o ambiente.

Em termos legislativos não existe nenhum Decreto-Lei específico para CVO e TMB, no entanto, a Comissão Europeia lançou a Diretiva n.º 96/62/CE, relativa à gestão da qualidade do ar, tendo sido transposta no Decreto-Lei n.º 73/2011 de

17 de Junho que estabelece o regime da prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera, fixando os princípios, objetivos e instrumentos apropriados à garantia da proteção do recurso natural ar, bem como as medidas, procedimentos e obrigações dos operadores das instalações abrangidas, com vista a evitar ou reduzir a níveis aceitáveis a poluição atmosférica originada nessas mesmas instalações.

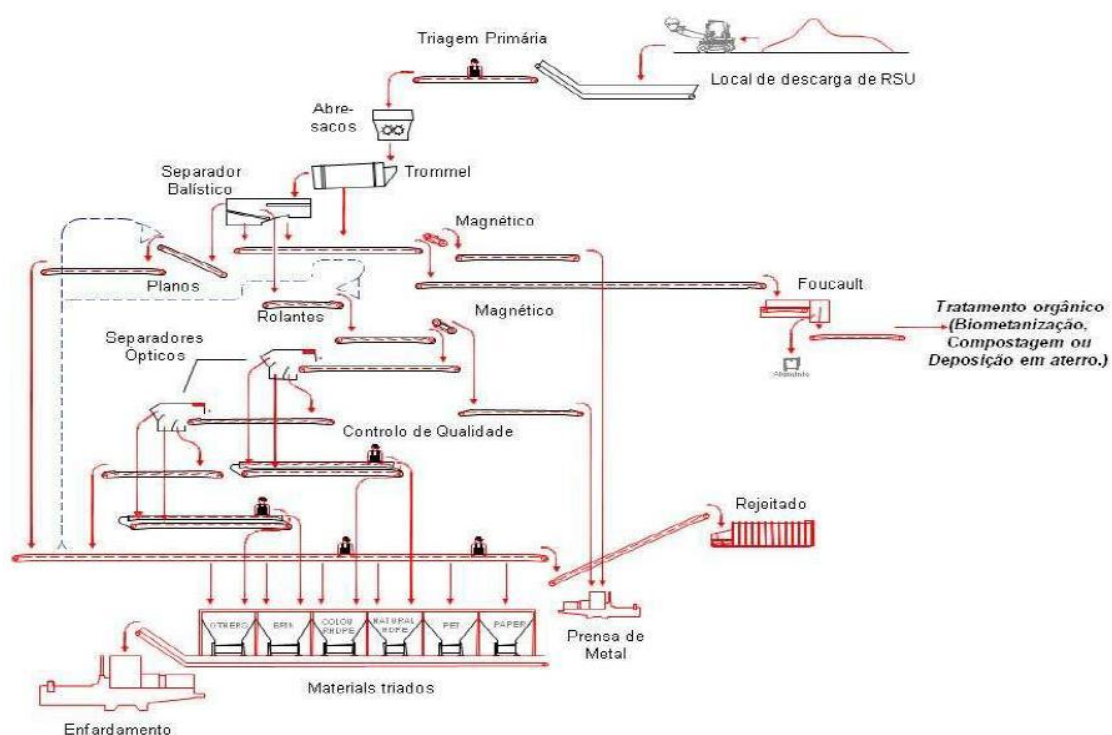
Todas as instalações de gestão de resíduos, que compreendem a operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos estão sujeitas às exigências impostas pelo Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro encontrando-se sujeitas ao pedido de um licenciamento. Atendendo aos consumos energéticos previstos na instalação, esta apresentará enquadramento no âmbito do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, e regulamentado pela Portaria n.º 359/82, de 7 de Abril, relativo aos consumidores intensivos de energia.

### **2.4.3 Infraestrutura**

Os RU quando dão entrada numa CVO/TMB necessitam de um pré-tratamento, ou seja, necessitam que sejam retirados os elementos contaminantes presentes e separada a fração orgânica. A maior parte das técnicas de pré-tratamento aplicadas são de natureza mecânica (Bardos, 2004 *in* Teixeira, 2009).

Existem dois tipos de Tratamento Mecânico: o tratamento mecânico manual e o automático.

Na Figura 2.12 apresenta-se o esquema do funcionamento de uma Unidade de Tratamento Biológico automática, dando-se maior ênfase à fase de separação dos RU.



**Figura 2.12– Esquema do funcionamento de uma Unidade de Tratamento Biológico (Eco-emballages, 2007 in Teixeira, 2009).**

Numa Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico, antes dos RU poderem entrar no digestor, podem passar pelos seguintes processos: abre-sacos, pré-triagem manual, crivo rotativo, separador balístico, separador magnético, correntes de Foucault, separadores óticos, sistema de aspiração e, por último, o digestor (Teixeira, 2009).

Após a remoção dos elementos contaminantes através de todos os processos mencionados, os RUB entram no digestor dando-se aí todo o processo de digestão anaeróbia.

#### **2.4.4 Processos**

A digestão anaeróbia (fase anaeróbia) é um processo bioquímico complexo em que a estabilização da matéria orgânica é conseguida através da atividade biológica de microrganismos específicos, na ausência de oxigénio livre com a concomitante produção de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Golueke, 1997 in Ferreira, 2010).

Na digestão anaeróbia podem distinguir-se várias fases (Kaspar & Wuhrmann, 1978; Zehnder *et al.*, 1982; Gujer & Zehnder, 1983; Bryant, 1979; Zehnder, 1978; Zinder, 1984 *in* Ferreira, 2010), em função da natureza e nível de processamento do substrato, cuja utilização e transformação pelos agentes biológicos em presença formam quatro grupos de microrganismos diferentes e distintos entre si. (Marchaim, 1994 *in* Ferreira, 2010).

O processo de degradação desenvolve-se segundo quatro etapas principais: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Seadi & Holm-Nielsen, 2001).

O primeiro passo da digestão anaeróbia é a hidrólise. Nesta etapa, os complexos substratos macromoleculares insolúveis são hidrolisados e transformados em intermediários mais simples e solúveis pelas bactérias. Um grande número de espécies microbianas que atuam em conjunto são capazes de utilizar substratos orgânicos, tais como, hidratos de carbono, proteínas e lípidos para produzir ácidos gordos voláteis (AGV) que posteriormente podem ser convertidos em metano e dióxido de carbono por microrganismos metanogénicos (Parawira *at al.*, 2005).

Nesta etapa, a solubilização de compostos insolúveis, tais como lenhina e material celulósico, constitui um dos passos limitantes do processo de digestão anaeróbia (Hobson, 1983, *in* Mendes, 2009).

A eficiência da atividade enzimática está dependente, de um modo geral, de vários fatores tais como: a composição e concentração do substrato, a produção e estabilidade das enzimas, a disponibilidade de substrato, o pH, a temperatura do líquido em digestão (Sarada & Joseph, 1993; Batstone *et al.*, 2000, *in* Silveira, 2009) e a concentração de AGV (Siegert & Banks, 2005 *in* Silveira, 2009).

Na acidogénese os compostos originados na hidrólise fermentam através da ação de bactérias acidogénicas que as transformam em elementos ou compostos de cadeias mais simples, como o ácido acético, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e ácidos gordos (Pavlostathis & Giraldo-Gomes, 1991; Marchaim, 1994 *in* Ferreira, 2010).

A flora bacteriana que caracteriza esta fase é formada por vários tipos de microrganismos, nomeadamente bactérias anaeróbias facultativas e anaeróbias

estritas (Ferreira, 2010). As bactérias anaeróbias estritas predominam relativamente às bactérias anaeróbias facultativas numa proporção de 100 a 1000 vezes mais, sendo normalmente a colónia mais importante a *Clostridium* (Garcia, 1983; Edeline, 1993 *in* Ferreira, 2010).

Os produtos resultantes desta etapa são fundamentais para o desempenho de todo o processo, pois podem afetar a eficiência e a estabilidade da metanogénese (Rem & Wang, 1994 *in* Mendes, 2009).

Na fase da acetogénese as bactérias assimilam e metabolizam os produtos obtidos no desenvolvimento da primeira fase, formando-se acetato e hidrogénio (Kim *et al.*, 1994 *in* Ferreira, 2010) que servirão na fase seguinte para a obtenção do biogás. Porém, nesta fase, há que distinguir dois grupos tróficos importantes, quando prevalecem culturas mistas, designadamente bactérias acetogénicas e homoacetogénicas (Marty *et al.*, 1987 *in* Ferreira, 2010).

As bactérias acetogénicas produtoras obrigatórias de hidrogénio, são microrganismos estritamente anaeróbios, responsáveis pela transformação de alguns produtos intermédios como os ácidos propiónico, butírico e o etanol (Edeline, 1993 *in* Ferreira, 2010), obtidos na primeira fase (hidrólise e acidogénese) e designados de precursores diretos de produção metano-acetato, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (Marchaim, 1994 *in* Ferreira, 2010).

Em condições normais as transformações das várias reações em que as bactérias acetogénicas intervêm são termodinamicamente desfavoráveis, só sendo possíveis com uma contínua remoção de hidrogénio. Geralmente, tal é assegurado pelas bactérias metanogénicas hidrogenotróficas ou, no caso de existir sulfato no meio, pelas bactérias sulfato-redutoras, por meio de um processo vulgarmente designado de “transferência de hidrogénio inter-espécies” (Dolfing, 1988 *in* Mendes, 2009).

Na metanogénese as bactérias metanogénicas, através de uma ação enzimática endógena, tal como na segunda fase de digestão, transformam os produtos das fases anteriores, nomeadamente o acetato, o hidrogénio e o CO<sub>2</sub> em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, e só um grau adequado de atividade metanogénica permite uma remoção aceitável de matéria orgânica (Ince *et al.*, 1995 *in* Ferreira, 2010). As bactérias metanogénicas são organismos anaeróbios estritos podendo subdivir-se

em dois grupos tróficos distintos, dadas as suas características morfológicas e de utilização de substrato, designadamente as bactérias hidrogenofílicas e acetoclásticas (Ince *et al.*, 1995 *in* Ferreira, 2010).

As bactérias hidrogenofílicas, através do seu processo metabólico são responsáveis, pela formação de cerca de 30% do biogás, basicamente utilizando hidrogénio e  $\text{CO}_2$  para a produção de  $\text{CH}_4$  (Tursman & Cork, 1989; Fox & Pohland, 1994 *in* Ferreira, 2010). Já as bactérias acetoclásticas são as principais responsáveis pela produção de biogás podendo representar os 70% da produção de metano. Além da produção de  $\text{CH}_4$  as bactérias acetoclásticas têm a importante função do controlo do pH na fase de fermentação, através da utilização do ácido acético e a formação do  $\text{CO}_2$  que, uma vez dissolvido, forma uma solução tampão de bicarbonato, fazendo com que o valor de pH seja próximo da neutralidade (Mosey, 1983 *in* Ferreira, 2010).

Na Figura 2.13 são apresentados esquematicamente todos os processos de conversões aeróbias.

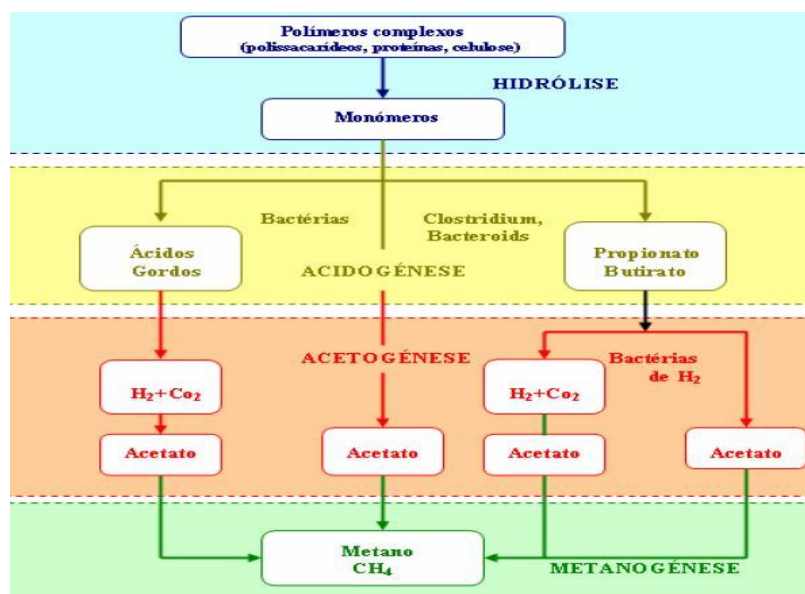


Figura 2.13 - Esquema das conversões anaeróbias (Russo, 2005).

Os fatores ambientais que interferem com as reações microbianas são: a temperatura, o tempo de retenção hidráulico, o pH e a alcalinidade, os nutrientes

e a toxicidade, e, a mistura. Para que o digestor funcione ao seu mais alto nível necessita de ter todos os parâmetros referidos dentro de níveis confortáveis para que as reações microbianas se possam dar com sucesso. Assim na Tabela 2.2 é apresentado o quadro sumário das condições operacionais da atividade aceitável de bactérias formadoras de metano na digestão anaeróbia.

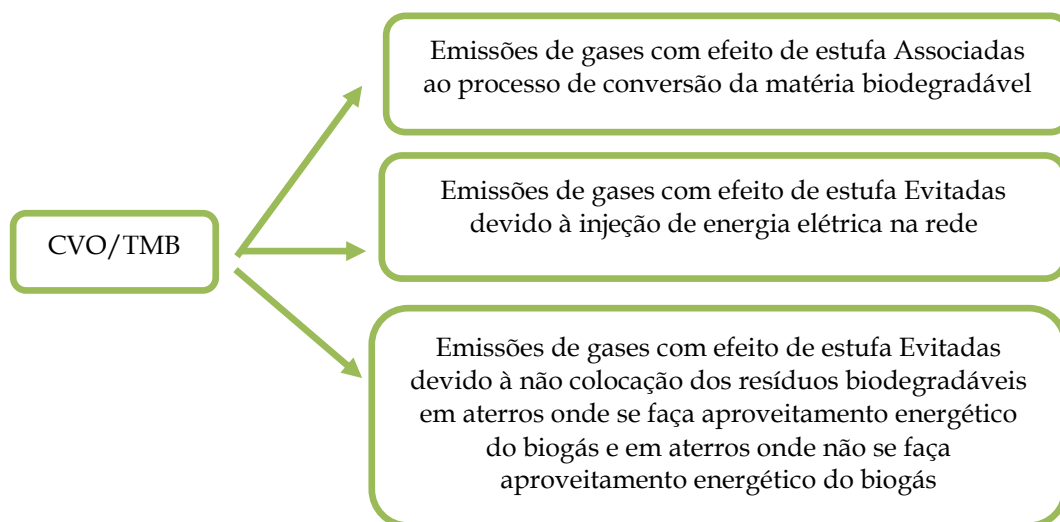
**Tabela 2.2 - Quadro sumário das condições operacionais da atividade aceitável de bactérias formadoras de metano e produção de metano na digestão anaeróbia (Gerardi, 2003).**

Condições (unidades de medida)	Ótimo	Margens
Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	1.500-3.000	1.000-1.500 3.000-5.000
<b>Composição do gás</b>		
Metano (% volume)	65-70	60-65 & 70-75
Dióxido de Carbono (% volume)	30-35	25-30 & 35-40
Tempo de retenção hidráulico (dias)	10-15	7-10 & 15-30
pH	6,8-7,2	6,6-6,8 & 7,2-7,6
Temperatura mesofílica (°C)	30-35	20-30 & 35-40
Temperatura termofílica (°C)	50-56	45-50 & 57-60
Ácidos Voláteis (mg/L de ácido acético)	50-500	500-2.000

Às CVO/TMB estão associadas três tipos de emissões:

- Emissões de gases com efeito de estufa Associadas ao processo de conversão da matéria biodegradável em energia elétrica (fora do objeto de estudo);
- Emissões de gases com efeito de estufa Evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede;
- Emissões de gases com efeito de estufa Evitadas devido à não colocação dos resíduos biodegradáveis em aterro (com ou sem aproveitamento energético do biogás).

No caso das CVO/TMB, não serão avaliadas as emissões de gases com efeito de estufa associadas ao processo de conversão da matéria biodegradável em energia elétrica, mas serão avaliadas as emissões evitadas devido à injeção na rede de energia elétrica e à não colocação da matéria biodegradável em aterro. A Figura 2.14 sumariza as emissões que se poderão observar numa CVO/TMB.



**Figura 2.14 - Emissões de gases com efeito de estufa associadas e evitadas nas CVO/TMB.**

Uma vez que numa CVO/TMB são processados apenas resíduos biodegradáveis, para efeitos de inventariação de emissões, estas não são contabilizadas, uma vez que o carbono em causa é considerado de origem biogénica. Assim, como objeto de estudo irão ser apenas tidas em conta as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede e à não colocação dos resíduos biodegradáveis em aterro.

No processamento da matéria orgânica, esta é decomposta em dióxido de carbono e água sendo que algum dióxido de carbono será libertado para a atmosfera (McDougall *et al.*, 2001). O metano produzido durante o processo de digestão anaeróbia é totalmente captado e utilizado para a produção de energia elétrica.

## **2.5 Valorização Energética – Incineração**

### **2.5.1 Considerações gerais**

Em Portugal as incineradoras são comumente denominadas de Centrais de Valorização Energética (CVE). Portugal Continental atualmente possui duas unidades de incineração, uma situada na região de Lisboa, gerida pela Valorsul e a outra situada na região do Porto sendo gerida pela Lipor.

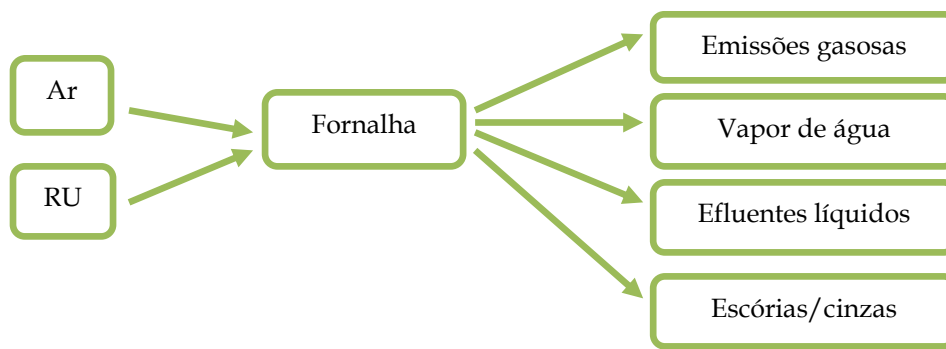


O tratamento térmico ou incineração pode ser considerado um pré-tratamento dos resíduos antes da sua eliminação ou como um meio para a sua valorização e recuperação de energia. Como combustível podem ser utilizados resíduos urbanos indiferenciados ou partes de fluxos específicos (papel ou plásticos) (McDougall *et al.*, 2001).

Os objetivos do tratamento térmico de resíduos centram-se nos seguintes pontos (McDougall *et al.*, 2001):

- Redução do volume de RU – dependendo da composição dos resíduos incinerados, ocorre uma redução de volume de cerca de 90%. Relativamente ao peso dos mesmos, a redução é de cerca de 70-75%
- Estabilização dos RU – as cinzas que se formam devido à queima dos RU são consideravelmente mais inertes do que os resíduos colocados à entrada da incineradora, isto devido à oxidação da componente orgânica dos resíduos.
- Recuperação de energia – este é um método de valorização, ao contrário da deposição direta de resíduos em aterro, visto que a queima dos resíduos produz energia térmica que pode ser transformada em energia elétrica e injetada na rede elétrica nacional. Esta é vista como um “recurso renovável” (Van Santen, 1993 in McDougall *et al.*, 2001), visto que se substitui aos combustíveis fósseis na produção de energia.
- Esterilização de resíduos – a incineração de resíduos hospitalares é de máxima importância, no entanto nos resíduos urbanos também tem alguma importância na medida em que vão ser destruídos todos os agentes patogénicos antes da sua deposição no aterro sanitário.

Na Figura 2.15 é possível visualizar o fluxo de entrada e saída nas Centrais de Valorização Energética. Aqui os resíduos, tal como nos aterros sanitários, entram em bruto onde são queimados. A sua queima gera: emissões gasosas, vapor de água, efluentes líquidos e escórias/cinzas.



**Figura 2.15 - Fluxo de entrada e saída de uma Central de Valorização Energética (Adaptado de Martinho, Gonçalves, & Silveira, 2011).**

No processo de incineração os resíduos são colocados em bruto na incineradora, estes são sujeitos a temperaturas de 850°C na presença de oxigénio sendo convertidos em dióxido de carbono, água e materiais não combustíveis (cinzas) (DEFRA, 2007 in Zaman, 2009). É uma tecnologia muito usada para geração de eletricidade na Europa e nos países desenvolvidos visto que não ocupa muito espaço quando comparada com os aterros sanitários (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

A hierarquia (Figura 2.16) responde a considerações financeiras, ambientais, sociais e de gestão bem como ao incentivo à minimização das emissões de GEE. Portugal não possui “Controlled Dumps”. Estes são considerados, segundo os autores, Hoornweg & Bhada-Tata, 2012 locais de deposição controlada onde existe a compactação dos resíduos. A incineração encontra-se abaixo dos aterros (na condição de menos preferível) na medida em que esta está dependente de um aterro sanitário para a deposição das cinzas produzidas durante o processo de queima. Do ponto de vista da gestão integrada de resíduos, a incineração de resíduos indiferenciados deverá ser evitada, devendo ser preferencialmente utilizada na valorização de refugos e rejeitados provenientes das operações de processamento mecânico, reciclagem material ou valorização orgânica dos resíduos, evitando a sua deposição em aterro (Martinho *et al.*, 2011).



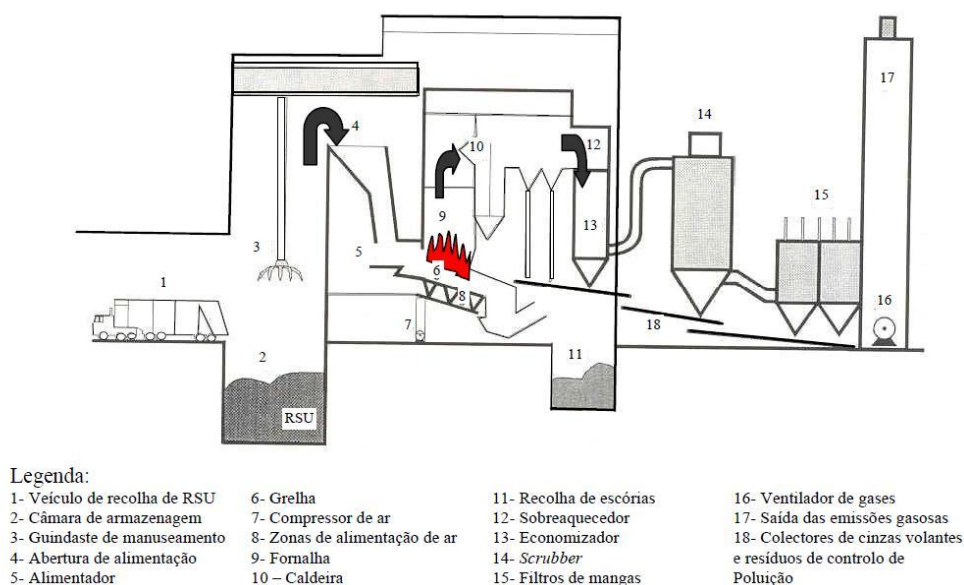
**Figura 2.16 – Hierarquia da deposição dos resíduos (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).**

### **2.5.2 Legislação**

As CVE devem obedecer a rigorosas linhas de orientação tendo um Decreto-Lei específico que estabelece o regime legal das suas atividades: Decreto-Lei n.º 85/2005 de 28 de Abril. Este transpõe a Diretiva n.º 2000/76/CE, de 4 de Dezembro que exige o licenciamento deste tipo de instalações e estabelece requisitos de exploração, valores limite de emissão, e condições de monitorização.

### **2.5.3 Infraestrutura**

Uma CVE é constituída, de uma forma geral, por: uma zona de receção e armazenamento dos RU; o sistema de alimentação da câmara de combustão; um sistema de combustão, o sistema de recuperação de calor para produção de energia elétrica, a recolha de escórias, o sistema de controlo de poluição atmosférica, e o sistema de recolha das cinzas volantes e dos resíduos de controlo de poluição (RCP) produzidos no processo.



**Figura 2.17 - Esquema do processo de incineração (IAWG, 1997 in João de Quina, 2005).**

Existem vários processos térmicos utilizados no tratamento de resíduos nomeadamente a pirólise, gaseificação, sinterização, vitrificação e fusão (Sabbas *et al.*, 2003 in João de Quina, 2005). Todos os processos referidos necessitam de pré-tratamento, enquanto a incineração não necessita dessa fase de tratamento, sendo assim chamada a sua queima de “queima em massa” (João de Quina, 2005).

### 2.5.4 Processo

A combustão dos resíduos urbanos traduz-se assim na transformação dos RU em materiais sólidos (cinzas), líquidos e gasosos com libertação de energia calorífica (Levy e Cabeças, 2006 in Tavares, 2013). Idealmente, se ocorresse a combustão completa de um combustível orgânico formar-se-ia apenas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), azoto ( $\text{N}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Mas na prática é possível encontrar compostos orgânicos que não sofreram combustão ou novos compostos provenientes de combustão parcial. Assim, uma combustão incompleta traduz-se no aparecimento de produtos de combustão incompleta, os COV (Compostos Orgânicos Voláteis, tais como, dioxinas, furanos, clorofenóis, clorobenzenos, bifenilos, bifenilos policlorados) e  $\text{NO}_x$  (óxidos de azoto) (João de Quina, 2005). Um incinerador de resíduos urbanos produz em média 4500-6000

m<sup>3</sup> de gases de combustão por tonelada de resíduos queimados (EC, 2006 in Martinho *et al.*, 2011).

A agitação e a mistura garantem uma oxidação homogênea que é influenciada pelo teor de oxigênio presente. Este último é influenciado pela injeção de ar de forma a garantir que a pressão dentro da câmara seja inferior à pressão exterior de modo a evitar as fugas de gases (Levy e Cabeças, 2006 in Tavares, 2013).

Os problemas frequentes associados à eficiência da combustão são (Clarke *et al.*, 1991 in Martinho *et al.*, 2011):

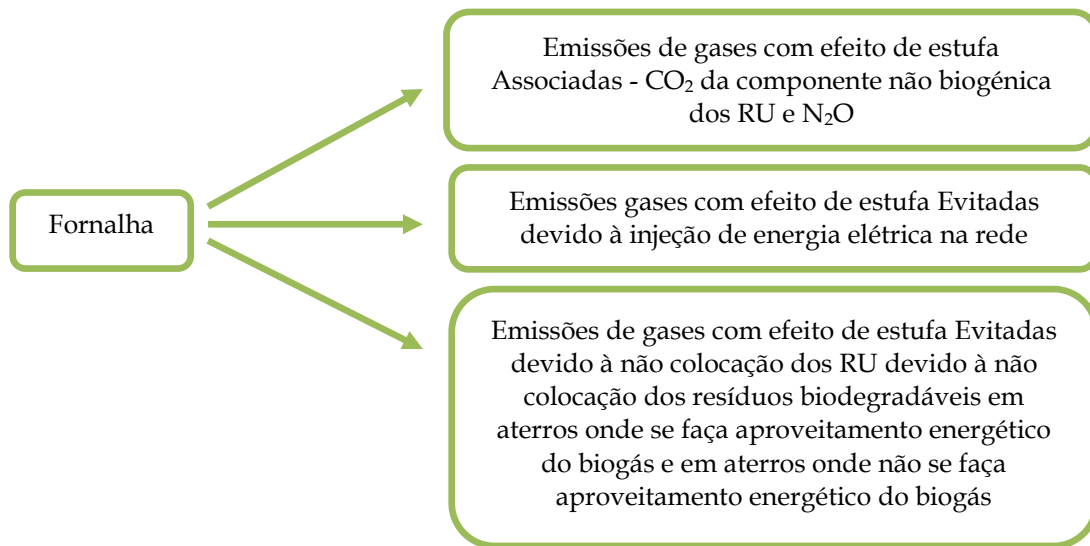
- Variação da produção de calor e na mistura de resíduos;
- Temperaturas desiguais no interior da câmara de combustão;
- Mistura insuficiente dos gases de combustão (incluindo produtos de combustão incompleta) com o oxigênio (turbulência);
- Tempo de residência insuficiente para queimar completamente os gases.

As dioxinas e os furanos são dois poluentes emitidos pelas incineradoras que têm causado alguma preocupação, na medida em que os processos da sua formação ainda não são muito claros e são altamente prejudiciais à saúde humana (Martinho *et al.*, 2011). Assim, no processo de combustão deve ter-se em conta a destruição destes mesmos, recomendando-se as seguintes condições dentro da câmara de combustão: temperaturas superiores aos 1000 °C, tempos de residência superiores a 1s e condições de turbulência que assegurem uma boa mistura (Martinho *et al.*, 2011). A “formação de novo” é um processo que acontece assim que os gases baixam a sua temperatura para os 300-400 °C, assim, a solução passa por arrefecer muito rapidamente os gases para temperaturas abaixo dos 300 °C, para que a sua formação seja minimizada.

As unidades de incineração englobam três tipos de emissões (Figura 2.18):

- Emissões de gases com efeito de estufa Associadas (constituídas pela CO<sub>2</sub> proveniente da componente não biogénica dos RU e o N<sub>2</sub>O)
- Emissões de gases com efeito de estufa Evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede

- Emissões de gases com efeito de estufa Evitadas devido à não colocação dos RU em aterro



**Figura 2.18 - Emissões de gases com efeito de estufa Associadas e Evitadas nas unidades de incineração.**

No presente trabalho, relativamente às emissões de gases com efeito de estufa Associadas, será analisado apenas o CO<sub>2</sub> da componente não biogénica dos RU. O N<sub>2</sub>O também é um gás que provoca efeito de estufa, no entanto, este quase não tem expressão no total das emissões Associadas quando comparado com o CO<sub>2</sub>.

O aproveitamento energético do calor que a combustão dos resíduos provoca, corresponde às emissões que foram evitadas.

## ***2.6 Produção de Eletricidade Através das Energias Renováveis***

O recurso a diversas tecnologias e diferentes fontes primárias de energia (carvão, gás natural, fuel, gasóleo, água, vento, sol, biomassa, resíduos) para a produção de energia elétrica tem vindo a aumentar.

A Rede Nacional de Transporte (RNT) é operada pela REN (Redes Energéticas Nacionais) e esta assegura a ligação entre os produtores e os centros de consumo assegurando assim o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, sendo a única entidade que efetua o transporte de eletricidade em Portugal (REN, 2014). A produção de eletricidade está aberta à concorrência e tem dois regimes gerais (REN, 2014):

- i) Produção em regime ordinário (PRO), relativa à produção de eletricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos
- ii) Produção em regime especial (PRE), relativa à cogeração elétrica a partir da utilização de fontes de energia renováveis

Os mercados organizados de eletricidade operam em regime livre e estão sujeitos a autorizações concedidas pelo Estado Português. Os produtores em regime ordinário, os comercializadores e os produtores em regime especial podem tornar-se agentes de mercado se assim o desejarem (REN, 2014). Estão sujeitas a regulação as atividades de transporte, de distribuição e de comercialização de último recurso de eletricidade, bem como as de operação logística de mudança de comercializador e a gestão de mercados organizados (Portal ERSE, 2014).

De forma a corresponder às necessidades do consumidor, torna-se fundamental concretizar, com base em princípios de racionalidade e eficiência dos meios, a utilização em todas as atividades que integram o setor elétrico desde a produção de eletricidade até ao seu fornecimento ao consumidor final (Portal ERSE, 2014).

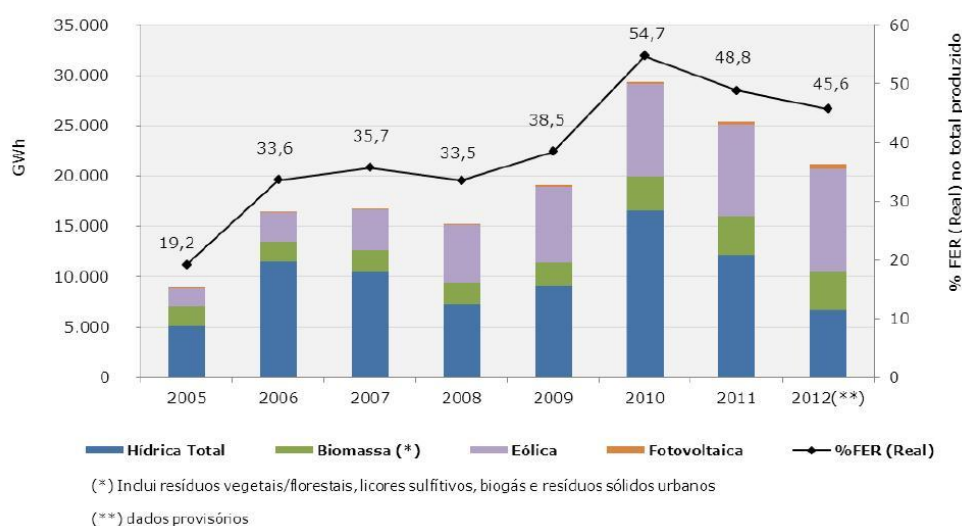
A energia elétrica, constituindo-se como um bem essencial, está sujeita a obrigações de serviço público, da responsabilidade de todos os intervenientes do setor elétrico, de entre as quais se destacam: (i) a segurança, a regularidade e a qualidade do seu abastecimento; (ii) a garantia da universalidade de prestação do serviço; (iii) a garantia da ligação de todos os clientes às redes e (iv) a proteção dos consumidores designadamente quanto a tarifas e preços (Portal ERSE, 2014).

Segundo o Relatório do Estado do Ambiente 2013, em 2011 o peso das fontes de energia renováveis (FER) no total da energia primária foi de 21,9%, diminuindo ligeiramente face aos 23,4% de 2010 (APA, 2013b). A mesma fonte refere que:

“No final de 2011, a capacidade instalada para a produção de energia elétrica a partir de FER atingiu os 10 622 MW em Portugal o que traduz um aumento de 9,6% relativamente a 2010, ano em que o reforço já havia sido de 6,6% face a 2009”.

Portugal ocupa o terceiro lugar dos países da União Europeia com a maior incorporação de energias renováveis na produção de energia elétrica (49,6% em 2011) seguindo-se a Áustria (56,3%) e a Suécia (57,2%) que ocupa o primeiro lugar.

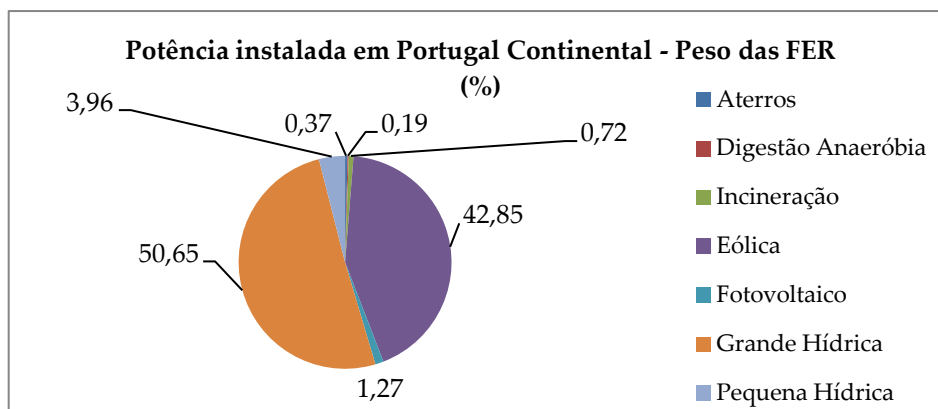
Em 2011, a produção bruta de eletricidade a partir de FER foi de 25.612 GWh, valor inferior ao alcançado em 2010 (29.566 GWh). Em 2012, os valores provisórios confirmam o decréscimo da energia elétrica produzida com base em FER, facto que se deve, fundamentalmente, à diminuição da produção hídrica ocorrida em 2011 e 2012 relativamente a um ano excecional como foi o de 2010 (APA, 2013b). Na Figura 2.19 é possível ver a produção bruta de energia elétrica através das FER.



**Figura 2.19 - Produção bruta de energia elétrica com base em FER, em Portugal (DGEG, 2013 in APA, 2013b).**

Em 2012 a potência instalada total era de 10.416 MW e pela Figura 2.20 é possível concluir que a maior parte da potência instalada atualmente pertence à grande hídrica (50,65%). A eólica também tem um grande peso na potência instalada nacional sendo que 42,85% pertencem à mesma, seguida da pequena hídrica (3,96%), fotovoltaico (1,27%), incineração (0,72%), aterros (0,37%) e por último a digestão anaeróbia efetuada em CVO ou TMB (0,19%).



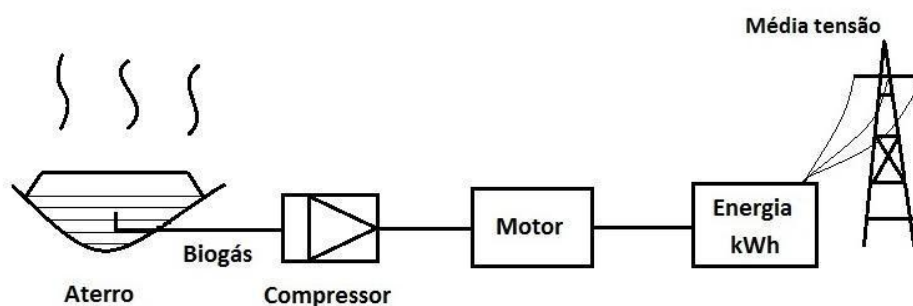


**Figura 2.20 - Peso das Fontes de Energia Renováveis no total de potência instalada em Portugal Continental (%) (Adaptado de INEGI, 2014).**

É manifesto o crescimento da potência instalada em FER para produção de eletricidade ao longo dos últimos anos, apresentando uma taxa de crescimento média anual (TCMA), entre 2005 e 2012, de 8,3% (APA, 2013b).

As previsões do Governo para a capacidade instalada de energias renováveis visam dispor de uma potência instalada de 15.565 MW até 2020. Tendo em conta a potência instalada de energias renováveis em 2011, Portugal terá ainda de promover o investimento nestas tecnologias por forma a atingir o objetivo pretendido para 2020, segundo o qual se prevê uma potência instalada de 8.932 MW de hídrica e 5.300 MW de eólica (INE, 2012).

O processo de valorização pode ser visto na Figura 2.21, onde se encontra representado um esquema com as etapas para a transformação do biogás que provém do aterro em energia elétrica que é injetada na rede (Braga, 2011). Este processo não só se aplica aos aterros sanitários como também às CVO/TMB.



**Figura 2.21 - Percurso do biogás desde a sua extração do aterro até à sua injeção na Rede Elétrica Nacional (Braga, 2011)**

### 2.6.1 Legislação – Energias Renováveis

Para que o setor elétrico se mantenha neutro, racional e justo para todas as partes envolvidas, é necessário criarem-se medidas de regulação, sendo que a maioria destas medidas é proveniente de Diretivas do Parlamento Europeu e do Conselho. A Tabela 2.3 apresenta a legislação mais importante associada à produção de energia elétrica através das energias renováveis.

**Tabela 2.3 – Legislação associada à produção de energia elétrica através das energias renováveis.**

<b>Tipo de documento</b>	<b>Data</b>	<b>Conteúdo</b>
Decreto-Lei n.º 189/88	27 Maio 1988	Estabelece normas relativas às atividades de produção de energia elétrica por pessoas singulares ou por pessoas coletivas de direito público ou privado.
Despacho n.º 10317/200	9 Maio de 2005	Leis de base da eletricidade e do gás natural e transposições (Transpõe as diretivas n.º 2003/54/CE e 2003/55/CE).
Decreto-Lei n.º 141/2010	31 Dezembro 2010	No âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, define as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final (transpõe parcialmente a Diretiva n.º 2009/28/CE). Estabelece o mecanismo de emissão de garantias de origem para a eletricidade a partir de fontes de energia renováveis.
Decreto-Lei n.º 25/2012	6 Fevereiro 2012	Este suspende a atribuição de potências de injeção na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).
Portaria n.º 139/2012	14 Maio 2012	Procede à revogação do regime de prestação de serviços de garantia de potência dos centros electroprodutores ao Sistema Elétrico Nacional e do respetivo mecanismo de remuneração e estabelece os princípios orientadores da regulamentação do regime de subsídio substituto.
Decreto-Lei n.º 215-A/2012	8 Outubro 2012	Estabelece os princípios gerais da organização e funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (Altera o Decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de Fevereiro).
Decreto-Lei n.º 215-B/2012	8 Outubro 2012	Estabelece as regras comuns para o mercado interno de eletricidade (Altera o Decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto).
Diretiva n.º 18/2012	8 Novembro 2012	Define os parâmetros relativos às ligações às redes de energia elétrica.
Portaria n.º 243/2013	2 Agosto 2013	A presente portaria estabelece os termos, condições e critérios de atribuição da reserva de capacidade de injeção de potência na rede elétrica de serviço público (RESP), bem como do licenciamento da atividade de produção de energia elétrica no âmbito do regime especial da remuneração garantida, respetivos prazos de duração, condições de manutenção e de alteração.

## **2.7 Emissões de Gases com Efeito de Estufa**

Um dos maiores problemas ambientais à escala global nos dias de hoje centra-se nas alterações climáticas e no aquecimento global provocado pelo aumento de gases com efeito de estufa (GEE). O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o GEE mais preocupante sendo lançado para a atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis (Uusitalo *et al.*, 2013). O crescimento populacional fará aumentar a procura de energia em todo o Mundo fazendo assim, com que as emissões de GEE também venham a aumentar. Na sequência deste aumento de procura de energia, as fontes de energia renováveis podem ser utilizadas na substituição de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, fazendo diminuir as emissões de GEE (Uusitalo *et al.*, 2013).

A União Europeia estabeleceu a meta 20-20-20 ou seja, o aumento de 20% do consumo total de energia proveniente de energias renováveis, 20% da redução de GEE e ainda o aumento de 20% da eficiência energética até ao ano de 2020 (Uusitalo *et al.*, 2013). Neste contexto, Portugal assumiu uma meta de 31% de energia de fontes renováveis no consumo final de energia (APA, 2012c).

O autor Zaman, 2009 efetuou um estudo tendo como objetivo final a análise dos potenciais impactes ambientais associados às tecnologias de transformação dos resíduos urbanos em energia, através de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV). Neste estudo o autor concluiu que os aterros sanitários são as infraestruturas que têm maior impacte ambiental, nomeadamente ao nível das emissões de gases com efeito de estufa. A incineração também emite alguns gases com efeito de estufa bem como gases que podem tornar-se prejudiciais à saúde humana. A Digestão Anaeróbia, segundo o estudo é a instalação que tem menores potenciais impactes sobre o ambiente. A Tabela 2.4 apresenta as emissões atmosféricas geradas em cada uma das infraestruturas de transformação de resíduos urbanos – CVO/TMB (Digestão Anaeróbia), Incineração e nos Aterros (Zaman, 2009).

**Tabela 2.4 - Emissões atmosféricas geradas nas instalações de transformação de Resíduos Urbanos em energia (Zaman, 2009).**

<b>Emissões geradas nas instalações (g/kWh)</b>			
<b>Substância</b>	<b>Digestão Anaeróbia</b>	<b>Incineração</b>	<b>Aterros</b>
Óxidos de azoto	0,57	2,75	0,369
Partículas	ND	0,065	0,03
Dióxido de enxofre	0,009	0,072	0,443
Ácido clorídrico	6,1E <sup>-5</sup>	0,1	0,0689
Ácido fluorídrico	2,1E <sup>-5</sup>	0,0017	0,0133
COV's	ND	0,014	0,037
1,1-Dicloroetano	ND	NE	0,0033
Cloroetano	ND	NE	0,0013
Cloroeteno	ND	NE	0,0014
Clorobenzeno	ND	NE	0,0029
Tetracloroetano	0,0004	NE	0,0041
Benzeno	ND	NE	2,96E <sup>-7</sup>
Metano	ND	NE	93,6
Cádmio	3,02E <sup>-7</sup>	8,6E <sup>-6</sup>	3,5E <sup>-4</sup>
Níquel	9,1E <sup>-7</sup>	8,6E <sup>-5</sup>	4,7E <sup>-5</sup>
Arsénio	1,51E <sup>-6</sup>	8,6E <sup>-6</sup>	5,9E <sup>-6</sup>
Mercúrio	1,81E <sup>-6</sup>	8,6E <sup>-5</sup>	5,9E <sup>-6</sup>
Dioxinas e furanos	ND	6,9E <sup>-10</sup>	2,7E <sup>-10</sup>
Bifenilos policlorados	ND	1,72E <sup>-7</sup>	ND
Dióxido de carbono	ND	1721	985
Monóxido de carbono	ND	ND	ND

\*ND - Não há dados disponíveis    \*\*NE - Não emite

## 3 Metodologia

Neste capítulo irá ser explicada a metodologia base utilizada para a análise da produção de energia elétrica através dos resíduos urbanos no horizonte temporal 2014-2020. Este capítulo encontra-se dividido em três secções. Na primeira secção é efetuada a definição de objetivos e a demonstração dos pressupostos gerais do trabalho, na segunda secção são explicados com detalhe os cenários criados, e, na terceira secção é descrito com todo o pormenor a metodologia utilizada na estimativa da produção de energia elétrica, bem como a metodologia utilizada para o cálculo das emissões de gases com efeito de estufa nos aterros sanitários, CVO/TMB e na Incineração.

### ***3.1 Definição de Objetivos e Pressupostos Gerais***

O objetivo primordial deste estudo consiste na estimativa da energia elétrica potencial que poderá ser produzida em Portugal Continental através dos resíduos urbanos, para o horizonte temporal 2014-2020, englobando assim, os aterros sanitários, Centrais de Valorização Orgânica/Tratamento Mecânico Biológico (digestão anaeróbia) e Incineração.

As instalações anteriormente referidas são responsáveis por emissões de gases com efeito de estufa que podem ter maior ou menor relevância de acordo com as suas características de funcionamento. Há um conjunto de emissões associadas aos processos em causa, sendo que, em diversos casos uma fração ou mesmo a totalidade podem ser evitadas.

Para cada aterro sanitário existente em Portugal Continental serão calculadas:

- Emissões não controladas de gases com efeito de estufa associadas ao processo de digestão anaeróbia,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede e,

- Emissões líquidas de CO<sub>2</sub> que correspondem à subtração entre as emissões associadas ao processo de digestão não controlado e as emissões de GEE evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.

Para as CVO/TMB serão calculadas:

- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido ao encaminhamento dos resíduos para as CVO/TMB e não para aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido ao encaminhamento dos resíduos para as CVO/TMB e não para aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado.

Para a incineração serão calculadas:

- Emissões de gases com efeito de estufa associadas ao processo da incineração,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado,
- Emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado,
- Emissões líquidas de CO<sub>2</sub> que correspondem às emissões associadas ao processo da incineração, subtraindo as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.

O universo da análise inclui apenas os aterros sanitários, CVO/TMB e unidades de incineração de Portugal Continental, no que respeita às regiões autónomas da Madeira e Açores, a informação disponível é muito limitada, pelo que se optou por não incluir os arquipélagos no presente estudo.

Foram considerados todos os aterros sanitários existentes em Portugal Continental com exceção dos Aterros de Ermesinde e Matosinhos pertencentes à Lipor. Não foi possível a obtenção de dados quantitativos das quantidades de resíduos depositadas, anteriores a 2009, no entanto, tem-se conhecimento que atualmente estes dois possuem aproveitamento energético do biogás gerado, sendo que no Aterro de Ermesinde existe um motor instalado com a potência de 2,6 MW e no Aterro de Matosinhos existe outro motor com a potência de 0,6 MW. Para que a análise se tornasse de maior facilidade de compreensão, os aterros foram divididos por zonas de acordo com as NUTS II (Zona Norte, Zona Centro e LVT e Zona do Alentejo e Algarve).

Foram estudadas e tidas em linha de conta as metas previstas no PERSU II e no mais recente documento, o PERSU 2020.

### **3.2 Cenários**

Por forma a conseguir alcançar os objetivos propostos e uma maior variedade de opções e realidades, foram estudados três cenários distintos para cada uma das diferentes deposições finais de resíduos urbanos (aterros, CVO/TMB (digestão anaeróbia) e Incineração). Para cada um foi criado o Cenário Otimista (COtim), Cenário PERSU (CPer) e o Cenário Pessimista (CPess). Para todos os casos avaliados, o Cenário Otimista corresponde a uma situação ideal, mas não real devido a perdas que acontecem, o Cenário PERSU corresponde a uma situação ideal e real tendo em conta as linhas definidas pelo documento PERSU e o Cenário Pessimista corresponde à pior situação que possa eventualmente vir a acontecer. Na Tabela 3.1 é possível ver como foi efetuada a articulação dos cenários criados com a deposição final dada aos resíduos urbanos, o processamento dos dados e o objetivo final de contabilização da produção de energia elétrica e emissões.

**Tabela 3.1 - Cenários e sua articulação com as instalações de deposição final dos RU, cálculos e objetivo final.**

Cenário	Instalação	Cálculos	Objetivo Final
Otimista	Aterros Sanitários	LandGEM	Potencial de energia
PERSU	CVO/TMB	Folha de cálculo do Excel própria	elétrica produzida, emissões associadas e evitadas
Pessimista	Incineração	Folha de cálculo do Excel própria	

Na Tabela 3.2 foi efetuado um quadro sumário dos parâmetros utilizados em cada um dos cenários criados para a produção de energia elétrica em cada um dos sistemas analisados (aterros, CVO/TMB e incineração). A Tabela 3.3 apresenta também um quadro sumário dos parâmetros utilizados em cada cenário mas relativo às emissões.

**Tabela 3.2 - Quadro resumo dos cenários criados – Energia Elétrica.**

	Aterros Sanitários	CVO/TMB	Incineração
<b>Cenário Otimista</b>	Aproveitamento completo de toda a energia elétrica potencialmente produzida Avaliação da produção de energia elétrica em todos os aterros (incluindo os aterros que ainda não fazem aproveitamento energético do biogás) Recomendações ao nível da instalação de novos motores para aproveitamento total do biogás produzido nos aterros	Considera-se que a digestão anaeróbia ocorre nas condições perfeitas sendo que a produção de energia elétrica é relativamente elevada	Cálculo da energia elétrica tendo como base a produção específica de energia, que por sua vez foi calculada através de dados obtidos desde o ano de arranque de cada uma das unidades de incineração Disponibilidade de carga para ambas as unidades de incineração situada entre os 84% e os 88% Potência instalada considerada: 75MW
<b>Cenário PERSU</b>	Aproveitamento de energia elétrica limitado à potência instalada em cada um dos aterros analisados Avaliação da produção de energia elétrica apenas nos aterros que hoje em dia aproveitam energeticamente o biogás gerado Recomendações para a instalação de novos	Considera-se que a digestão anaeróbia ocorre em condições medianas em todas as CVO/TMB sendo que a produção de energia elétrica é mediana também	Cálculo da energia elétrica tendo como base a produção específica de energia, que por sua vez foi calculada através de dados obtidos desde o ano de arranque de cada uma das unidades de incineração Disponibilidade de carga considerada para a CTRSU entre 55% e 83%



	<b>Aterros Sanitários</b>	<b>CVO/TMB</b>	<b>Incineração</b>
	motores para a maximização do aproveitamento energético do biogás gerado		e para a CVE da Maia entre 64% e 83% para o período de 2014-2020 Potência instalada considerada: 109MW
<b>Cenário Pessimista</b>	A produção de energia elétrica é exatamente igual à produção de eletricidade no cenário PERSU, tendo-se considerado os mesmos parâmetros	Considera-se que a digestão anaeróbia ocorre em condições más em todas as CVO/TMB sendo que a produção de energia elétrica não é muito elevada	Cálculo da energia elétrica tendo como base a produção específica de energia, que por sua vez foi calculada através de dados obtidos desde o ano de arranque de cada uma das unidades de incineração Disponibilidade de carga considerada para a CTRSU inferior a 55% e para a CVE da Maia inferior a 64% para o período de 2014-2020 Potência instalada considerada: 75MW

**Tabela 3.3 - Quadro resumo dos cenários criados - Emissões.**

	<b>Aterros Sanitários</b>	<b>CVO/TMB</b>	<b>Incineração</b>
<b>Cenário Otimista</b>	Visto que todos os aterros produzem energia elétrica, considerou-se que 25% do metano total seria libertado para a atmosfera sem qualquer tipo de tratamento, enquanto os restantes 75%, correspondem ao metano passível de ser convertido em energia elétrica Cálculo das emissões não controladas associadas ao processo de digestão anaeróbia e emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede	Cálculo das emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede, emissões evitadas devido à não colocação de RU em aterros sanitários sem aproveitamento energético do biogás e, emissões evitadas devido à não colocação de RU em aterros sanitários com aproveitamento energético do biogás gerado	Cálculo das emissões associadas ao processo da incineração, emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede, emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros sem aproveitamento energético do biogás gerado, emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros com aproveitamento energético do biogás gerado e emissões líquidas de CO <sub>2</sub> que correspondem às emissões associadas ao processo da incineração, subtraindo

	Aterros Sanitários	CVO/TMB	Incineração
			as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede
<b>Cenário PERSU</b>	<p>Visto que nem todos os aterros produzem energia elétrica considerou-se que:</p> <p>Em aterros onde se produz energia elétrica – 25% do metano total é emitido para a atmosfera e 75% é aproveitado energeticamente</p> <p>Em aterros onde não se produz energia elétrica – 50% do metano total é emitido para a atmosfera e 50% é queimado e transformado em CO<sub>2</sub> nos <i>flares</i></p> <p>Cálculo das mesmas emissões do cenário anterior e emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético</p>	Cálculo das mesmas emissões referidas no cenário anterior	Cálculo das mesmas emissões referidas no cenário anterior
<b>Cenário Pessimista</b>	<p>Tal como no cenário anterior, nem todos os aterros produzem energia elétrica. Assim, considerou-se que:</p> <p>Em aterros onde se produz energia elétrica – 25% do metano total é emitido para a atmosfera e 75% é aproveitado energeticamente</p> <p>Em aterros onde não se produz energia elétrica – 70% do metano total é emitido para a atmosfera e 30% é queimado e transformado em CO<sub>2</sub> nos <i>flares</i></p> <p>Cálculo das mesmas emissões referidas no cenário anterior</p>	Cálculo das mesmas emissões referidas no cenário anterior	Cálculo das mesmas emissões referidas no cenário anterior

Os capítulos seguintes explicarão com maior detalhe os cenários criados.

### **3.2.1 Cenário Otimista - Pressupostos**

O Cenário Otimista foi criado tendo em conta uma situação ideal em que se considera um aproveitamento completo de toda a energia elétrica potencialmente produzida. De seguida serão expostos todos os pressupostos tidos em conta em cada uma das situações analisadas.

#### **3.2.1.1 Aterros Sanitários**

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica em todos os aterros existentes em Portugal Continental, bem como as emissões de gases com efeito de estufa associadas, ou seja, aquelas que são emitidas de forma não controlada para a atmosfera devido à digestão anaeróbia dos resíduos biodegradáveis em aterro e as emissões de gases com efeito de estufa evitadas em cada um deles pela injeção de eletricidade na rede evitando o uso de combustíveis fósseis para a sua produção.

Neste cenário, relativamente à produção de energia elétrica, considerou-se que todo o potencial elétrico é aproveitado, ou seja, não se considera nenhuma restrição na potência instalada. Com isto, é possível fazer recomendações ao nível da instalação de novos motores para o aproveitamento total do biogás produzido nos aterros.

Quanto às quantidades de resíduos que dão entrada nos aterros, foram definidas linhas de orientação no documento PERSU 2020, que se encontram discriminadas na Figura 3.1. Neste cenário prevê-se que as quantidades de resíduos urbanos que darão entrada nos aterros sanitários sejam mais baixas quando comparadas com o ano de 2012.

Relativamente às emissões, considerou-se que, em cada aterro, 25% das emissões totais de metano são libertadas para a atmosfera, correspondendo assim às emissões de gases com efeito de estufa associadas ao processo de digestão anaeróbia não controlada, e, 75% das emissões totais de metano, são utilizadas na queima para produção de energia elétrica.

### 3.2.1.2 CVO/TMB

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVO/TMB existente e em operação e ainda para as CVO/TMB ainda em fase de construção/planeamento.

Neste cenário, relativamente à produção de biogás e eletricidade, considerou-se que os intervalos de valores de produção de biogás (m<sup>3</sup> biogás/tonelada de RUB processada) e da produção de energia elétrica (kWh/tonelada de RUB processada) se encontram em níveis Muito Bons ou Bons (ver Tabela 3.4 e Tabela 3.5).

**Tabela 3.4 - Intervalos da produção de biogás através da digestão anaeróbia (Dados EGF, 2014).**

Intervalos (m <sup>3</sup> biogás/t RUB processada)		
Muito Bom	140	190
Bom	120	139
Médio	100	119
Médio Alto	90	99
Mau	< 90	

**Tabela 3.5 - Intervalos de produção de energia elétrica através da digestão anaeróbia (Dados EGF, 2014).**

Intervalos (kWh/t RUB processada)		
Muito Bom	320	370
Bom	240	319
Médio	210	239
Médio Alto	110	219
Mau	< 110	

### 3.2.1.3 Incineração

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVE existentes atualmente em Portugal Continental.

Neste cenário não existe a produção de biogás, mas sim de calor que também é passível de ser transformado em energia elétrica. O cálculo da energia

elétrica potencial produzida foi calculado tendo como base a produção específica de energia (kWh/t RU que entram na incineradora) tentando manter a disponibilidade de carga entre valores elevados, sendo considerados para ambas as unidades de incineração valores situados entre os 84% e os 88%. A potência instalada que se considerou foi a que se encontra instalada atualmente (75 MW).

### **3.2.2 Cenário PERSU – Pressupostos**

O Cenário PERSU foi desenhado tendo em conta todas as linhas definidas pelo novo documento, o PERSU 2020, correspondendo este a uma situação ideal e real, que, a curto/médio prazo será concretizável. De seguida serão expostos todos os pressupostos tidos em conta em cada uma das situações analisadas.

#### **3.2.2.1 Aterros Sanitários**

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica apenas nos aterros que atualmente já fazem aproveitamento energético do biogás gerado (aterros que nos dias de hoje não aproveitam o biogás gerado, não foram tidos em conta), bem como as emissões de gases com efeito de estufa associadas, ou seja, aquelas que são emitidas para a atmosfera devido à digestão anaeróbia dos resíduos biodegradáveis em aterro e as emissões de gases com efeito de estufa evitadas em cada um deles por queima através dos *flares* ou para a produção de eletricidade.

Foi tida em conta a potência dos motores instalados, sendo que esta poderá causar alguma restrição para o aproveitamento total do biogás disponível nos aterros, em alguns casos foram efetuadas algumas recomendações para a instalação de novos motores.

Quanto às quantidades de resíduos que dão entrada nos aterros, foram definidas linhas de orientação no documento PERSU 2020, que se encontram discriminados na Figura 3.1. Neste cenário, tal como no anterior, prevê-se que as quantidades de resíduos urbanos que darão entrada nos aterros sanitários sejam mais baixas, quando comparadas com o ano de 2012.

Relativamente às emissões, já foram considerados os aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado. Assim, nestes

considerou-se que 50% do metano total produzido é libertado para a atmosfera sem qualquer tipo de tratamento, enquanto os outros 50% são queimados e transformados em CO<sub>2</sub> nos *flares* existentes. Em aterros que já fazem o aproveitamento energético do biogás captado, considerou-se que as percentagens de metano libertado para a atmosfera e aproveitado energeticamente são iguais ao do Cenário Otimista (25% do metano total é libertado para a atmosfera e 75% é aproveitado energeticamente).

SMAUT	Meta Mínimo Reciclagem (em % de RU Recicláveis)	Meta Máxima Deposição RUB em aterro (em % de RUB produzidos)	Meta de Retomas de RS (em kg por capita por ano)
ALGAR	52%	46%	71
AMARSUL	48%	34%	45
AMBILITAL	80%	10%	48
AMBISOUSA	35%	50%	32
AMCAL	80%	10%	55
ECOBELRÃO	80%	10%	29
BRAVAL	80%	10%	53
ECOLEZÍRIA	35%	50%	30
ERSUC	80%	10%	46
GESAMB	80%	10%	48
LIPOR	35%	10%	50
RESIALENTEJO	80%	10%	43
RESÍDUOS DO NORDESTE	80%	10%	42
RESIESTRELA	80%	10%	30
RESINORTE	58%	43%	41
RESITEJO	35%	10%	52
RESULIMA	80%	10%	45
SULDOURO	39%	50%	45
TRATOLIXO	53%	16%	49
VALNOR	80%	10%	54
VALORLIS	55%	42%	42
VALORMINHO	35%	50%	47
VALORSUL	42%	10%	49
<b>NACIONAL*</b>	<b>53%</b>	<b>26%</b>	<b>47</b>

**Figura 3.1 – Linhas orientadoras do PERSU 2020, para cada sistema de gestão de RU**  
(Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013).

### 3.2.2.2 CVO/TMB

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVO/TMB existente e em operação e ainda para as CVO/TMB ainda em fase de construção/planeamento.

Neste cenário, relativamente à produção de biogás e de eletricidade, considerou-se que os intervalos de valores de produção de biogás (m<sup>3</sup> biogás/tonelada de RUB processada) e de produção de energia elétrica (kWh/tonelada de RUB processada) se encontram em níveis reais facultados pelo Grupo EGF. Como a informação para as empresas fora do Grupo EGF não se encontra disponível, foram utilizados para essas instalações valores dentro da

gama de valores facultados pelo Grupo EGF (Tabela 3.4 e Tabela 3.5 - níveis Médio ou Médio Alto).

### **3.2.2.3 Incineração**

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVE existentes atualmente em Portugal Continental.

Neste cenário não existe a produção de biogás, mas sim de calor que também é passível de ser transformado em energia elétrica. O cálculo da energia elétrica potencial produzida foi efetuado tendo como base a produção específica de energia (kWh/t RU que entram na incineradora). Esta foi calculada tendo como referência valores obtidos desde o ano de entrada em funcionamento das respetivas unidades de incineração. A disponibilidade de carga (rendimento da unidade de incineração) foi mantida entre valores considerados normais para os últimos anos, sendo que para a CTRSU da Valorsul situam-se entre os 55% e os 83% e na CVE da Maia – Lipor se situam nos 64% e os 83%.

Segundo o documento PERSU 2020, no horizonte 2014-2020 serão criadas mais duas linhas, uma na CVE da Maia - Lipor e outra na CTRSU - Valorsul e por isso, essa situação irá implicar um aumento da potência instalada, tendo sido assim considerada uma potência instalada total de 109 MW (67 MW para a CTRSU – Valorsul e 42 MW para a CVE da Maia – Lipor).

### **3.2.3 Cenário Pessimista – Pressupostos**

O Cenário Pessimista corresponde a uma situação indesejável num futuro próximo, analisando-se assim a pior situação em termos de emissões. De seguida serão expostos todos os pressupostos tidos em conta em cada uma das situações analisadas.

#### **3.2.3.1 Aterros Sanitários**

Para este cenário procedeu-se também, tal como nos cenários anteriores, ao cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada um dos aterros, bem como as emissões de gases com efeito de estufa associadas e evitadas em cada um deles.

Foram avaliados todos os aterros que hoje efetuam captação de biogás e o seu aproveitamento energético usando assim como base a produção energética do cenário PERSU. Relativamente à potência instalada, foi tida em conta a potência dos motores instalados para o aproveitamento do biogás proveniente dos aterros, mas neste caso não é feita nenhuma recomendação ao nível da instalação de novos motores. A potência instalada considerada foi a mesma considerada para o cenário PERSU sendo que a energia elétrica produzida neste cenário é exatamente igual à energia elétrica produzida no cenário PERSU.

Quanto às quantidades de resíduos que dão entrada nos aterros, foram consideradas as mesmas quantidades de entrada relativamente ao ano de 2012, ou seja, as quantidades de resíduos que se prevê que venham a entrar nos aterros sanitários não irão diminuir, ao contrário dos cenários descritos anteriormente.

Relativamente às emissões de gases com efeito de estufa em aterros que já fazem o aproveitamento energético do biogás captado, considerou-se que as percentagens de metano libertado para a atmosfera e aproveitado energeticamente são iguais às dos Cenário Otimista e Cenário PERSU (25% do metano total é libertado para a atmosfera e 75% é aproveitado energeticamente). Quanto aos aterros que ainda não fazem a captação do biogás gerado no aterro, considerou-se que nestes, 70% do metano total produzido no aterro é libertado para a atmosfera e os restantes 30% são queimados e transformados em dióxido de carbono nos *flares* que todos os aterros, por lei, têm obrigação de possuir.

O que distingue este cenário do cenário PERSU são apenas as emissões de gases com efeito de estufa associadas à digestão anaeróbia dos RU biodegradáveis depositados, as emissões de gases com efeito de estufa devido à queima do metano sem aproveitamento em aterros onde não se efetua o aproveitamento energético do biogás gerado e as quantidades de entrada de resíduos em cada um dos aterros sanitários.

### **3.2.3.2 CVO/TMB**

Para este cenário foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVO/TMB existente e em operação e ainda para as CVO/TMB ainda em fase de construção/planeamento.



Neste cenário, relativamente à produção de biogás e eletricidade, considerou-se que os intervalos de valores de produção de biogás (m<sup>3</sup> biogás/tonelada de RUB processada) e de produção de eletricidade (kWh/tonelada de RUB processada) se encontram em níveis Maus (ver Tabela 3.4 e Tabela 3.5).

### **3.2.3.3 Incineração**

Para este cenário, tal como nos anteriores foi efetuado o cálculo do potencial de produção de energia elétrica para cada uma das CVE existentes atualmente em Portugal Continental.

Neste cenário não existe a produção de biogás, mas sim de calor que também é passível de ser transformado em energia elétrica. O cálculo da energia elétrica potencial produzida foi calculado tendo como base a produção específica de energia (kWh/t RU que entram na incineradora) tentando manter a disponibilidade de carga inferior a 55% na CTRSU da Valorul e inferior a 64% na CVE da Maia da Lipor, sendo que estes valores não são os mais desejáveis. A potência instalada que se considerou foi a que se encontra atualmente instalada (75 MW).

## ***3.3 Metodologia da Estimativa da Produção de Energia Elétrica e Emissões***

### **3.3.1 Aterros Sanitários**

Em Portugal Continental existem 38 aterros de RU. Alguns ainda se encontram em fase de exploração enquanto outros já foram encerrados devido à excedência da capacidade de encaixe permitida. Neste estudo foram analisados com detalhe 36 aterros; não tendo sido possível analisar ao pormenor os aterros de Ermesinde e de Matosinhos pertencentes à Lipor devido à falta de dados posteriores a 2009. No entanto, tem-se conhecimento de que nestes dois é feito o aproveitamento energético do biogás captado.

#### **3.3.1.1 Obtenção de Dados**

Os dados para posterior introdução no modelo tiveram diversas fontes.

As quantidades de resíduos colocadas em aterro ao longo dos anos foram retiradas dos Relatórios e Contas das empresas que gerem os respectivos aterros. Os sítios na internet das empresas gestoras também se revelaram de grande utilidade. Os dados relativos aos aterros pertencentes ao Grupo EGF foram facultados pelo próprio grupo (Cabeças & Dores, 2014).

A capacidade de encaixe de cada um dos aterros foi retirada da respetiva licença ambiental a que todos os aterros têm de estar sujeitos e que se encontra disponível *on-line*.

### 3.3.1.2 Funcionamento do Modelo LandGEM

Para o cálculo da energia elétrica potencial produzida em cada aterro sanitário é necessário estimar o total de metano gerado ao longo do tempo, para tal, foi utilizado o modelo da USEPA conhecido como LandGEM, versão 3.02. Esta ferramenta efetua a modelação das emissões dos gases de aterro, tais como, o metano, o dióxido de carbono entre outros poluentes atmosféricos, utilizando como interface o Microsoft<sup>TM</sup> Excel. De seguida, descrever-se-á de forma breve o funcionamento do LandGEM.

O modelo utiliza a seguinte equação (Equação 1) que representa a taxa de decomposição de primeira ordem para a estimativa das emissões anuais num determinado período de tempo no aterro (Alexander *et al.*, 2005).

**Equação 1 - Taxa de decomposição de primeira ordem para estimar as emissões anuais nos aterros sanitários (Alexander, Burklin, & Sigleton, 2005).**

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left( \frac{M_1}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Onde,  $Q_{CH_4}$  - geração de metano anual no ano de cálculo ( $m^3$ /ano)

i - incremento do tempo (1 ano)

n - (ano do cálculo) - (ano inicial de aceitação de resíduos)

j - incremento do tempo (0,1)

k - taxa de geração de metano ( $ano^{-1}$ )

$L_0$  – capacidade potencial de geração de metano ( $\text{m}^3/\text{Mg}$ )

$M_i$  – massa de resíduos aceite no ano  $i$  (Mg)

$t_{ij}$  – ano da secção  $j^{\text{th}}$  da massa de resíduos  $M_i$  aceite no ano  $i^{\text{th}}$  (ano)

Num primeiro passo é necessário fornecer ao modelo a informação das características do aterro que será analisado:

- Nome do aterro
- Ano de abertura do aterro
- Ano de fecho do aterro/Capacidade de armazenamento do aterro
- Quantidade anual rececionada pelo aterro (Mg)

Se não se dispuser da informação do ano em que o aterro irá encerrar, é possível entrar com o valor da sua capacidade de armazenamento e, o modelo retorna automaticamente a informação de quando será o ano previsto para o seu encerramento.

Através da Equação 1 é possível constatar que o modelo está dependente de vários parâmetros para estimar as emissões provenientes dos aterros sanitários, tais como:

- Taxa de geração de metano ( $k$ )
- Capacidade potencial de geração de metano ( $L_0$ )
- Concentração de COVNM
- Percentagem de metano presente (%)

A taxa de geração de metano ( $k$ ), determina a taxa de geração de metano para a massa de resíduos que se encontra presente no aterro. Quanto maior for o valor de  $k$ , maior a taxa de geração de metano, logo, maior a deterioração dos resíduos. O valor de  $k$  depende essencialmente de quatro fatores: do teor de humidade da massa de resíduos, da disponibilidade dos nutrientes para os microorganismos que efetuam a decomposição, do pH da massa de resíduos e da temperatura da massa de resíduos. O valor deste parâmetro verificou-se ser variável de aterro para aterro, tendo sido calculado previamente pelo Grupo EGF (Cabeças, 2011). Se este valor não tivesse sido ainda calculado anteriormente, o modelo sugere valores de defeito dependendo do tipo de aterro.

A capacidade potencial de geração de metano ( $L_0$ ) só depende da composição dos resíduos depositados no aterro. Quanto maior for o teor de celulose contido nos resíduos, maior será o valor de  $L_0$ . Este parâmetro também é variável de aterro para aterro e tal como o valor  $k$ , foi calculado previamente pelo Grupo EGF (Cabeças, 2011). Para casos em que este parâmetro não tenha sido calculado previamente, o modelo também sugere alguns valores que podem ser utilizados por defeito consoante o tipo de aterro.

Para a concentração de Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (COVNM) foi utilizado o valor recomendado pelo modelo: 4000 (ppmv como hexano). Para a percentagem de metano presente também foi considerado o valor recomendado pelo modelo correspondendo aos 50%. O modelo permite uma gama de valores entre os 40% e os 60%, no entanto para a modelação em aterros desaconselha, visto que poderão ser percentagens que não correspondam à realidade (Alexander *et al.*, 2005).

Após a introdução de todos os dados, os resultados são imediatos. Estes surgem sob a forma de tabela, com valores ou gráficos, onde há a separação dos valores de biogás, metano e dióxido de carbono produzidos para cada ano de funcionamento do aterro ao longo de um horizonte temporal de 140 anos. O resultado principal utilizado foi o metano.

A Figura 3.2 apresenta o sumário do funcionamento do modelo LandGEM.

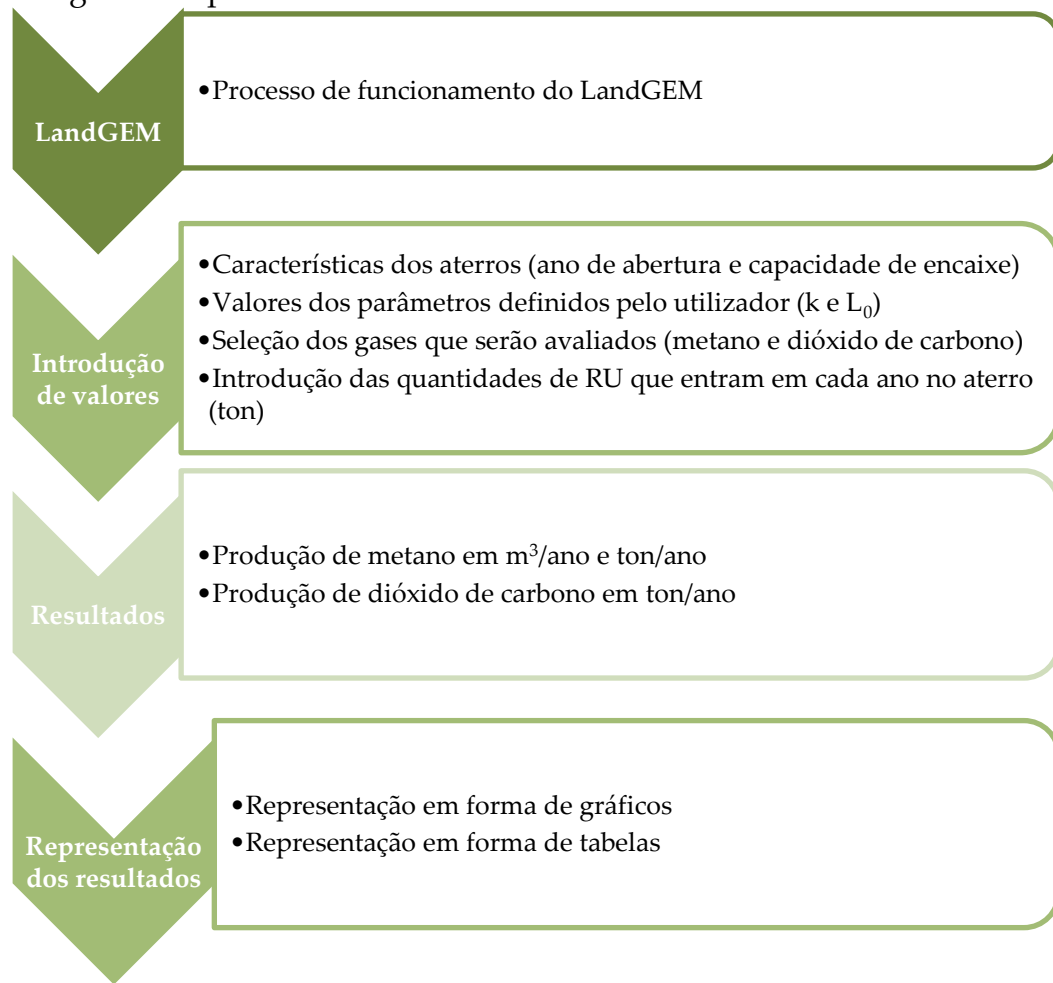


Figura 3.2 – Diagrama de fluxo do funcionamento do modelo LandGEM. Adaptado de Alexander *et al.*, 2005.

### 3.3.1.3 Produção de Metano

A produção de metano é um dado que sai diretamente como resultado do modelo LandGEM. A produção de metano pode ser retirada em  $m^3$ /ano ou em t/ano consoante a unidade de medida que for mais conveniente para efeitos do cálculo em questão. Para o cálculo da energia elétrica potencial foi utilizada a unidade de medida da produção de metano em  $m^3$ /ano, enquanto que para o cálculo das emissões evitadas e associadas foi utilizada a unidade de medida de produção de metano em t/ano.

### 3.3.1.4 Cálculo da Energia Elétrica Potencial Produzida

Antes do cálculo da energia elétrica potencial produzida foi necessário efetuar o cálculo do Poder Calorífico Inferior (PCI) do biogás assim, considerou-se que:

- 1 molécula de biogás contém: 50% de metano (CH<sub>4</sub>) e 50% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Peso molecular do CH<sub>4</sub> = 16 g/mol e Peso molecular do CO<sub>2</sub> = 44 g/mol
- Volume molar de uma substância em estado gasoso em condições PTN = 22,4 dm<sup>3</sup>
- Poder Calorífico Inferior do Metano = 50 MJ/kg (Despacho n.º17313/2008 de 26 de Junho de 2008)

**Equação 2 - Cálculo da relação massa/volume do metano**

$$\frac{Massa}{Volume} (metano) = \frac{16g/mol}{22,4dm^3} = \frac{0,71g/mol}{dm^3} = kg/m^3$$

**Equação 3 - Conversão do metano de massa para energia**

$$50MJ/kg \times 0,71kg/m^3 = 35,71MJ/m^3$$

**Equação 4 - Cálculo do PCI do metano**

$$PCI(metano) = \frac{35,71}{3600} = 0,00992MWh/m^3 = 9,92kWh/m^3$$

**Equação 5 - Cálculo do PCI do biogás**

$$PCI(biogás) = \frac{9,92}{2} = 4,97kWh/m^3$$

- Estimativa da percentagem de biogás que é captado dos aterros = 75%
- Eficiência do motor (%) = 42,5%
- Horas de operação/ano (%) = 80%
- Eficiência do transformador (%) = 98%

**Tabela 3.6 – Fórmulas aplicadas ao cálculo do potencial de energia produzida nos aterros sanitários.**

Produção de metano (m <sup>3</sup> /ano)	Produção de biogás (m <sup>3</sup> /ano)	Biogás captado (m <sup>3</sup> /ano)	Energia potencial do biogás captado (kWh/ano)	Potencial de energia produzida (kWh/ano)
Resultado do LandGEM	Produção de metano x 2	Produção de biogás x 0,75	Biogás captado x PCI (biogás)	Energia potencial do biogás captado x 0,425 x 0,8 x 0,98

### 3.3.1.5 Cálculo das Emissões Associadas e Evitadas

As emissões associadas, são as emissões que ocorrem quando o metano é livremente libertado para a atmosfera, consideradas as perdas no caso do aproveitamento energético do biogás. As emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede, são as emissões que se consegue que não sejam emitidas pelo facto de serem aproveitadas energeticamente.

De seguida serão apresentadas as equações das fórmulas utilizadas para o cálculo de ambas.

- Produção de metano é variável consoante o aterro
- % metano que se liberta é variável dependendo dos cenários
- Potencial de aquecimento global do metano = 21

**Equação 6 - Fórmula para o cálculo das emissões associadas.**

*Emissões Associadas (tCO<sub>2eq</sub>/ano) = Produção total de metano (t/ano) x % de metano que se liberta x Potencial de aquecimento global do metano*

**Equação 7 - Fórmula de cálculo das emissões evitadas de metano devido à sua queima sem aproveitamento energético.**

*Emissões Evitadas devido à queima (tCO<sub>2eq</sub>/ano) = Produção total de metano (t/ano) x % metano que se queima nos flares x Potencial de aquecimento do metano*

O fator de emissão utilizado para o cálculo das emissões de gases com efeito de estufa devido à injeção de energia elétrica na rede foi obtido no sítio da internet pertencente à EDP. Foi efetuada uma média dos fatores de emissão calculados pela EDP relativos aos anos de 2011, 2012 e 2013, tendo-se obtido o seguinte valor: 202,82 gCO<sub>2</sub>/kWh (EDP - Energias de Portugal, 2014).

**Equação 8 - Fórmula de cálculo das emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.**

*Emissões Evitadas devido à injeção na rede (tCO<sub>2</sub>/ano) = (Potencial de energia produzida (kWh/ano)/1000) x (Fator de emissão médio da EDP (gCO<sub>2</sub>/kWh)/1000)*

### **3.3.2 CVO/TMB**

Em Portugal Continental existem nove CVO/TMB já em exploração e três TMB que irão ser construídas brevemente.

#### **3.3.2.1 Obtenção de Dados**

Tal como nos aterros sanitários, para as CVO e TMB também foi necessário pesquisar nos Relatórios e Contas das respetivas empresas as quantidades de RU que dão entrada à cabeça de cada CVO/TMB. Os sítios na internet de algumas dessas empresas também se revelaram de utilidade na pesquisa desta informação.

#### **3.3.2.2 Quantidade de RUB Recebido no Digestor**

Para que o processo de digestão anaeróbia se dê da forma mais eficaz possível, no digestor deve apenas entrar matéria orgânica degradável. Assim, torna-se um processo importante a separação prévia dos resíduos urbanos que chegam, logo à entrada da estação. Para efeitos de cálculo, foi considerado que 55% dos RU que entram à cabeça são matéria orgânica, os restantes podem ser considerados resíduos multimateriais.



### 3.3.2.3 Quantidade de Biogás e Energia Elétrica Potencial Produzida

A quantidade de biogás produzido foi calculada utilizando os dados dos intervalos já referenciados na Tabela 3.4 (Quantidade de biogás/tonelada de RUB) e utilizando a seguinte fórmula:

**Equação 9 - Quantidade de biogás produzido na CVO/TMB.**

$$\text{Quantidade de biogás (m}^3\text{/ano)} = \text{Quantidade de biogás/tonelada de RUB} \times \text{Quantidade de RUB recebido no digestor}$$

Para o cálculo da quantidade de energia elétrica produzida também foi necessário recorrer à Tabela 3.5 (Quantidade de energia elétrica produzida/tonelada de RUB), recorrendo-se assim à seguinte fórmula:

**Equação 10 - Quantidade de energia elétrica produzida na CVO/TMB.**

$$\text{Quantidade de energia elétrica produzida (kWh/ano)} = \text{Quantidade de energia elétrica produzida por tonelada de RUB} \times \text{Quantidade de RUB recebido no digestor}$$

### 3.3.2.4 Cálculo das Emissões Evitadas

As emissões evitadas nas CVO/TMB englobam três tipos de emissões: as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede, as emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde não o efetue o aproveitamento energético do biogás gerado e as emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado.

**Equação 11 - Fórmula de cálculo das emissões evitadas devido à injeção de eletricidade na rede.**

$$\text{Emissões Evitadas devido à injeção na rede (tCO}_2\text{/ano)} = (\text{Potencial de energia produzida (kWh/ano)}/1000) \times (\text{Fator de emissão médio da EDP (gCO}_2\text{/kWh)}/1000)$$

Para o cálculo das emissões evitadas devido à não colocação em aterro utilizou-se a ferramenta LandGEM. Aqui inseriu-se a quantidade de resíduos urbanos que entram à cabeça da CVO/TMB, e, da ferramenta retirou-se a quantidade emitida de metano que essa quantidade de resíduos iria emitir se fosse enviada para aterro. Assim a fórmula de cálculo das emissões evitadas será:

**Equação 12 - Fórmula de cálculo das emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterro sem aproveitamento energético.**

*Emissões Evitadas devido à não colocação em aterro sem aproveitamento energético*  
 $(tCO_{2eq}) = \text{Quantidade de metano emitido (t/ano)} \times \text{Potencial de aquecimento do metano}$   
(21)

A fórmula de cálculo das emissões evitadas devido à não colocação em aterro onde se efetue o aproveitamento energético é igual à fórmula apresentada em cima (Equação 12) o que varia será a quantidade de metano emitido. Nas emissões evitadas devido à não colocação em aterro onde não se efetue o aproveitamento energético considerou-se que todo o metano seria libertado para a atmosfera enquanto nas emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterro onde se efetue o aproveitamento energético, considerou-se que 25% do metano total seria emitido para a atmosfera.

### **3.3.3 Incineração**

Em Portugal Continental existem duas incineradoras em exploração, uma situada na região de Lisboa pertencente à Valorsul e outra situada na região Norte pertencente à Lipor.

#### **3.3.3.1 Obtenção de Dados**

Tal como nos dois casos anteriores a obtenção de dados para o caso das incineradoras teve exatamente o mesmo tratamento, foi necessário consultar os Relatórios e Contas das respetivas empresas gestoras das incineradoras.

#### **3.3.3.2 Produção Específica de Energia**

A produção específica de energia (kWh/t) foi calculada tendo como referência valores obtidos desde o ano de entrada em funcionamento das respetivas unidades de incineração e ajustada consoante a disponibilidade de carga pretendida de acordo com os cenários criados.

#### **3.3.3.3 Disponibilidade de Carga**

A disponibilidade de carga representa o rendimento que o motor teve nesse ano. Anos em que as incineradoras necessitaram de um maior número de

manutenções correspondem a anos de menores disponibilidades de carga. Assim, calculou-se a disponibilidade de carga da seguinte forma:

**Equação 13 - Fórmula de cálculo da disponibilidade de carga.**

*Disponibilidade de carga (%) = (Produção elétrica possível de injetar na rede x 100)/Potencial de produção de energia elétrica*

O potencial de produção de energia elétrica corresponde à potência instalada, convertida em energia elétrica.

#### **3.3.3.4 Cálculo da Energia Elétrica Potencial Produzida**

A fórmula utilizada para a produção de energia elétrica possível de injetar na rede elétrica nacional foi:

**Equação 14 - Fórmula de cálculo da produção de energia elétrica possível de injetar na rede.**

*Produção elétrica (injeção na rede) (kWh/ano) = Quantidade de resíduos que entram na unidade de incineração (t/ano) x Produção específica de energia (kWh/t RU)*

#### **3.3.3.5 Cálculo das Emissões Associadas e Evitadas**

O cálculo das emissões associadas nas incineradoras foi efetuado tendo como base o documento do IPCC *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (Watson & Sundararaman, 2006).

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> utilizou-se a seguinte fórmula:

**Equação 15 - Fórmula de cálculo das emissões associadas de CO<sub>2</sub> nas unidades de incineração.**

*Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg/ano) = Quantidade de resíduos (Gg) x Fração de Carbono (%) x Fração de Carbono Fóssil (%) x Eficiência das incineradoras (%) x (Peso molecular do CO<sub>2</sub>/Peso molecular do carbono)*

Em que se considerou:

Fração de Carbono = 40%

Fração de Carbono Fóssil = 40%

Eficiência da combustão das unidades de incineração = 95%

Peso molecular do Carbono = 12

Peso molecular do CO<sub>2</sub> = 44

Para a incineração, foram calculadas as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção na rede de eletricidade, as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado, as emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás e as emissões líquidas.

A fórmula de cálculo utilizada para o cálculo das emissões de gases com efeito de estufa evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede é exatamente igual à fórmula utilizada para o cálculo das emissões evitadas devido à injeção de eletricidade na rede nas CVO/TMB. (Equação 11)

As fórmulas utilizadas para o cálculo das emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás e emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás também foram exatamente as mesmas que foram utilizadas nas CVO/TMB. (Equação 12) As diferenças entre estas duas emissões serão a quantidade de metano emitido. Nas emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterro onde se efetue o aproveitamento energético do biogás considerou-se que todo o metano será emitido para a atmosfera enquanto nas outras emissões considerou-se que apenas 25% do metano total seria emitido para a atmosfera.

Para o cálculo das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> utilizou-se a seguinte fórmula:

**Equação 16 - Fórmula de cálculo das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> nas unidades de incineração.**

*Emissões Líquidas de CO<sub>2</sub> (t/CO<sub>2</sub>) = Emissões Associadas ao processo de incineração – Emissões Evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede*

### **3.4 Limitações na Realização do Trabalho**

A ferramenta utilizada para a modelação da produção de energia elétrica nos aterros sanitários, o LandGEM, requer o levantamento de dados que nem se encontram disponíveis nos sites das empresas de gestão de resíduos ou nos seus relatórios e contas. O pedido de dados junto dessas empresas muitas vezes não é viável, o que poderá acabar por vir a comprometer os resultados obtidos.

A existência de bases de dados onde fosse possível aceder a toda a informação relativa a todos os sistemas de gestão de resíduos, nomeadamente:

- Quantidade de resíduos produzidos anualmente,
- Quantidade de biogás produzido anualmente,
- Quantidade de energia elétrica produzida e todas as fontes da sua produção,
- Entre outros dados relevantes.

Talvez constituísse a resposta para a dificuldade na obtenção destes dados.

O LandGEM é uma ferramenta frequentemente utilizada pelas entidades que operam os aterros de modo a tornar a gestão dos gases gerados mais eficiente, no entanto, tal como todos os modelos existentes, este não é 100% fiável sendo que, os valores obtidos através do mesmo devem ser encarados apenas como linhas orientadoras. Os gases gerados pelo modelo não correspondem à situação real, isto porque cada aterro tem as suas características intrínsecas.

Tendo sido efetuada uma previsão para o período de 2014-2020, esta poderá não corresponder exatamente ao que irá acontecer no futuro próximo, no entanto, se neste período se vierem a verificar valores aproximados aos do cenário PERSU, já será um bom prognóstico. Significará que as linhas definidas no PERSU foram cumpridas e que se caminha para a sustentabilidade e equilíbrio no setor dos resíduos urbanos.



## 4 Resultados e Discussão

O presente capítulo encontra-se organizado em três grandes seções, compreendendo os Aterros Sanitários, as CVO/TMB e a Incineração. Estas seções encontram-se subdivididas em mais três seções onde será efetuada a análise para cada caso de estudo dos cenários criados (Cenário Otimista, Cenário PERSU e Cenário Pessimista).

### 4.1 Aterros Sanitários

Para cada aterro sanitário foi efetuada uma modelação no LandGEM com o objetivo de se obter a quantidade de metano emitida anualmente em aterro para que fosse possível o cálculo da energia elétrica e emissões no aterro. De seguida serão apresentados os parâmetros utilizados nessa modelação para cada aterro sanitário avaliado.

Como é possível constatar pela análise da Tabela 4.1, os valores dos parâmetros variam de aterro para aterro. A potência instalada varia de acordo com a quantidade captada em cada aterro e a capacidade de encaixe é a capacidade máxima de resíduos urbanos que o aterro pode albergar, em toneladas. O valor  $k$  representa a taxa de geração de metano ( $\text{ano}^{-1}$ ) e o valor  $L_0$  (nPTN) representa a capacidade potencial de geração de metano.

**Tabela 4.1 – Parâmetros utilizados na modelação dos aterros sanitários no LandGEM.**

<b>Empresa</b>	<b>Nome do Aterro Sanitário</b>	<b>Início da deposição em aterro</b>	<b>Potência Instalada (MW)</b>	<b>Capacidade de encaixe (t)</b>	<b>Valor <math>k</math> (<math>\text{ano}^{-1}</math>)</b>	<b>Valor <math>L_0</math> (nPTN)</b>
Valorminho	Valença	1998	0,537	1.066.126	0,08	85,4
Resulima	Vale do Lima e Baixo Cávado	1998	2	1.778.609	0,08	100,7
Braval	Póvoa de	1998	1,1	1.640.675	0,08	100,7

<b>Empresa</b>	<b>Nome do Aterro Sanitário</b>	<b>Início da deposição em aterro</b>	<b>Potência Instalada (MW)</b>	<b>Capacidade de encaixe (t)</b>	<b>Valor k (ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor L<sub>0</sub> (nPTN)</b>
	Lanhoso					
Resinorte	Codesosso	2001	0,8	1.535.658	0,08	111,3
	Bigorne	2001	N.A.	Fecho em 2014	0,08	98,0
	Boticas	2002	N.A.	Fecho em 2018	0,08	92,3
	Santo Tirso	2001	N.A.	Fecho em 2015	0,08	100,0
	Vila Real	2001	N.A.	Fecho em 2016	0,08	100,0
Lipor	Maia	2001	N.A.	930.000	0,08	101,7
Ambisousa	Lustosa	1998	0,9	666.900	0,08	98,0
	Penafiel	1999	1	965.004	0,08	98,0
Suldouro	Sermonde	1999	5,6	2.122.880	0,2	101,7
	Gestal	2014	N.A.	2.300.000	0,2	101,7
Resíduos do Nordeste	Urjais	1997	0,8	839.000	0,08	111,3
Valorlis	Leiria	1998	0,9	2.546.285	0,06	102,4
ERSUC	Aveiro	1998	1,2	Fechou 2012	0,06	102,3
	Coimbra	1998	0,9	Fechou 2012	0,06	102,3
	Figueira da Foz	1998	0,8	Fechou 2012	0,06	102,3
Planalto Beirão	Tondela	1999	3,9	1.981.381	0,06	102,3
Resisestrela	Fundão	2001	0,8	2.107.040	0,06	85,6
Valnor	Abrantes	2001	0,8	330.000	0,15	96,7
	Avis	2000	N.A.	1.196.000	0,15	96,7
Valorsul	Mato da Cruz	1999	1,7	3.463.000	0,06	102,3



<b>Empresa</b>	<b>Nome do Aterro Sanitário</b>	<b>Início da deposição em aterro</b>	<b>Potência Instalada (MW)</b>	<b>Capacidade de encaixe (t)</b>	<b>Valor k (ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor L<sub>0</sub> (nPTN)</b>
	Oeste	2001	1,1	3.443.184	0,06	104,3
Ecolezíria	Raposa	2001	1	542.307	0,06	102,3
Resitejo	Resitejo	1999	1,1	1.080.000	0,06	102,4
Tratolixo	Trajouce	1997	0,8	Fechou 2005	0,06	104,3
	Abrunheira	2005	N.A.	2.445.000	0,06	104,3
Amarsul	Seixal	2001	2,4	4.801.460	0,06	97,0
	Palmela	1998	2,4	4.551.000	0,06	97,0
Gesamb	Évora	2004	N.A.	1.574.780	0,05	97,0
Ambilital	Santiago do Cacém	2001	0,5	672.034	0,05	97,0
Amcal	Cuba	1999	N.A.	264.320	0,05	97,0
Resialentejo	Resialentejo	2004	N.A.	885.857	0,05	97,0
Algar	Barlavento	1998	1,7	3.235.000	0,04	100,3
	Sotavento	2000	1,2	1.953.796	0,05	100,3

O valor k não apresentou grandes variações; no entanto, é possível concluir que nas regiões mais a norte do país este parâmetro possui valores mais elevados (0,08 ano<sup>-1</sup>) quando comparado com as regiões mais a sul do país (0,05 ano<sup>-1</sup>). Este parâmetro depende essencialmente dos seguintes fatores: teor de humidade da massa de resíduos, disponibilidade dos nutrientes para os microorganismos que efetuam a decomposição, pH da massa de resíduos, e da temperatura da massa de resíduos. Nas regiões a Norte de Portugal Continental as condições naturais ideais para a formação de biogás são mais favoráveis, ou seja, nesta zona ocorre uma maior deterioração dos resíduos depositados em aterro e, consequentemente, uma maior produção de biogás que pode ser aproveitado energeticamente.

O valor do L<sub>0</sub> só depende da composição dos resíduos depositados no aterro, sendo que, quanto maior for o seu valor, maior é o teor de celulose

contida nos resíduos. Este parâmetro pode corresponder à identidade de cada um dos aterros, sendo que, para efeitos do estudo efetuado este valor não varia muito de norte a sul do país.

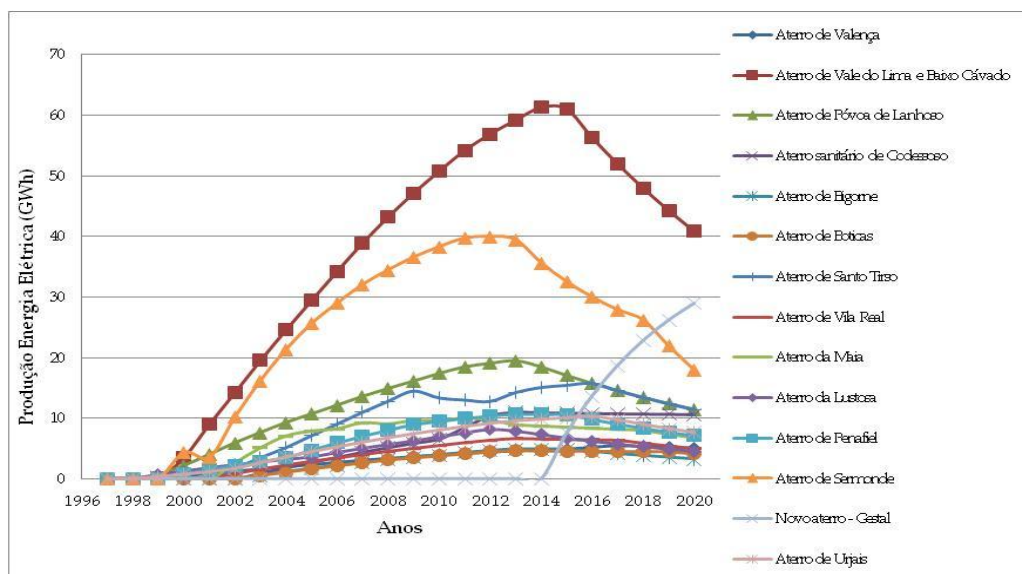
#### **4.1.1 Cenário Otimista**

A análise engloba todos os aterros existentes, sendo que, foram considerados até mesmo aqueles que ainda não possuem aproveitamento energético do biogás de aterro.

##### **4.1.1.1 Zona Norte**

Na Figura 4.1 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona norte relativa ao período 1997-2020.

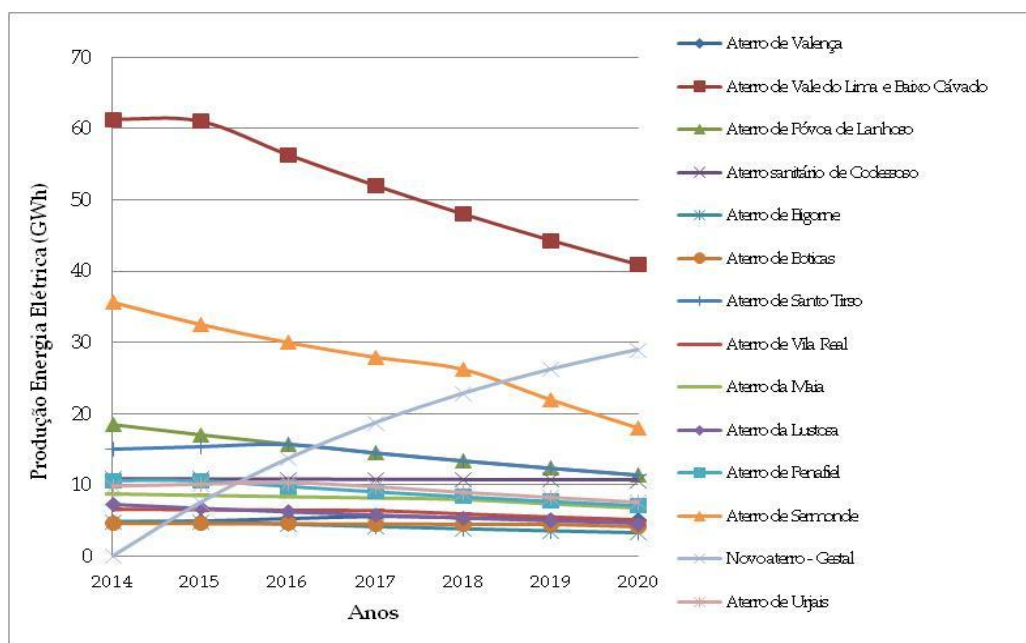
Pela análise da Figura 4.1 é possível ver que todos os aterros a partir de sensivelmente 2012 apresentam a sua fase de pico de produção de energia elétrica e que, neste momento se encontram em fase de decaimento. O novo aterro Gestal pertencente à Suldouro é uma exceção devido à sua abertura e deposição de resíduos apenas em 2014. O aterro de Vale do Lima e Baixo Cávado pertencente à Resulima é o aterro com maiores potencialidades para a produção de energia elétrica através do biogás como se pode verificar pela curva representada na figura com a cor grená, seguido do aterro de Sermonde pertencente à Suldouro, representado pela linha laranja.



**Figura 4.1 – Aterros Sanitários Zona Norte - Evolução da produção de energia elétrica desde o período de abertura dos aterros até 2020 – Cenário Otimista.**

O gráfico representado na Figura 4.2 mostra a evolução da produção de energia elétrica no período 2014-2020. Este é um representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. É possível verificar que a produção de energia elétrica se encontra em fase de decaimento devido ao ano de fecho dos aterros em análise.

Através da análise da Tabela 4.2 é possível verificar que a maior parte dos aterros da zona Norte já se encontra em fase de fecho, explicando-se assim o facto da energia elétrica produzida estar em decaimento. O ano de fecho dos aterros representa o pico da formação do biogás nos aterros, sendo que a partir desse ponto a formação de biogás irá entrar em fase de decaimento.



**Figura 4.2 – Aterros Sanitários Zona Norte – Evolução da produção de energia elétrica 2014-2020 – Cenário Otimista.**

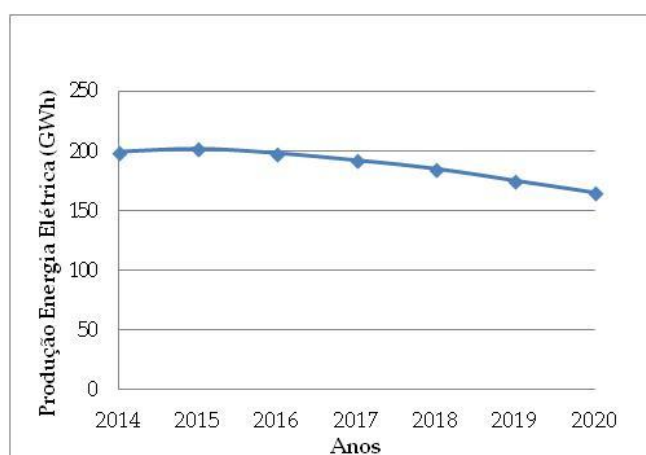
Para o período 2014-2020 na zona Norte irá produzir-se um total de cerca de 1.846 GWh.

**Tabela 4.2 – Ano de fecho dos aterros sanitários da Zona Norte.**

Empresa Gestora	Nome do Aterro Sanitário	Ano de Fecho do Aterro Sanitário
Valorminho	Aterro de Valença	2045
Resulima	Aterro de Vale do Lima e Baixo Cávado	2014
Braval	Aterro da Póvoa de Lanhoso	2013
Resinorte	Aterro de Codessoso	2035
	Aterro de Bigorne	2014
	Aterro de Boticas	2018
	Aterro de Santo Tirso	2015
	Aterro de Vila Real	2016
Lipor	Aterro da Maia	2017
Ambisousa	Aterro da Lustosa	2012

Empresa Gestora	Nome do Aterro Sanitário	Ano de Fecho do Aterro Sanitário
Suldouro	Aterro de Penafiel	2015
	Aterro de Sermonde	2018
	Novo Aterro – Gestal	N.D.
Resíduos do Nordeste	Aterro de Urjais	2016

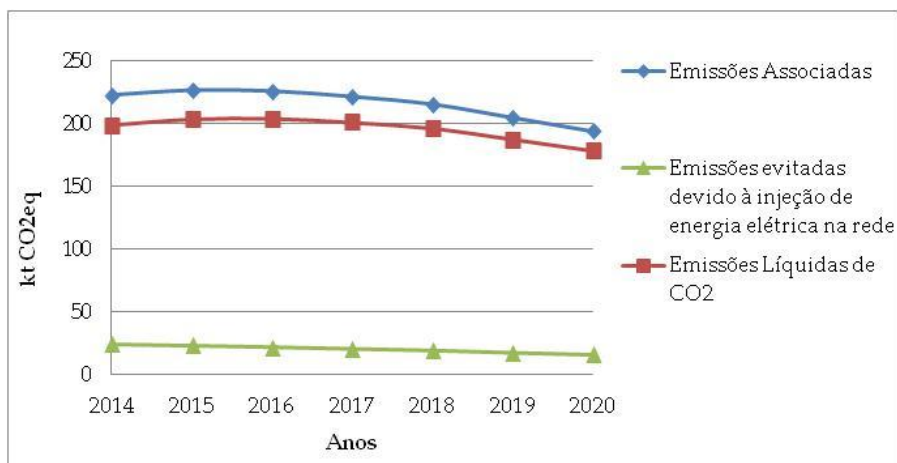
É possível constatar através da análise do gráfico representado na Figura 4.3 que a produção de energia elétrica vai sofrer um ligeiro decréscimo ao longo dos anos porque como já foi explicado anteriormente, a maioria dos aterros já atingiu o seu pico em anos anteriores fazendo assim com que a produção de biogás decresça e consequentemente se venha a verificar o decréscimo também do seu aproveitamento energético.



**Figura 4.3 - Aterros Sanitários Zona Norte - Energia Elétrica Total produzida em 2014-2020 - Cenário Otimista.**

O gráfico apresentado na Figura 4.4 mostra a desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Norte. É possível constatar que as emissões associadas à digestão anaeróbia não controlada nos aterros são superiores às emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.

Visto que todos os aterros neste cenário fazem aproveitamento energético do biogás gerado, haverá apenas um tipo de situação a considerar, ou seja, a colocação dos resíduos urbanos num aterro onde existe aproveitamento energético do biogás.



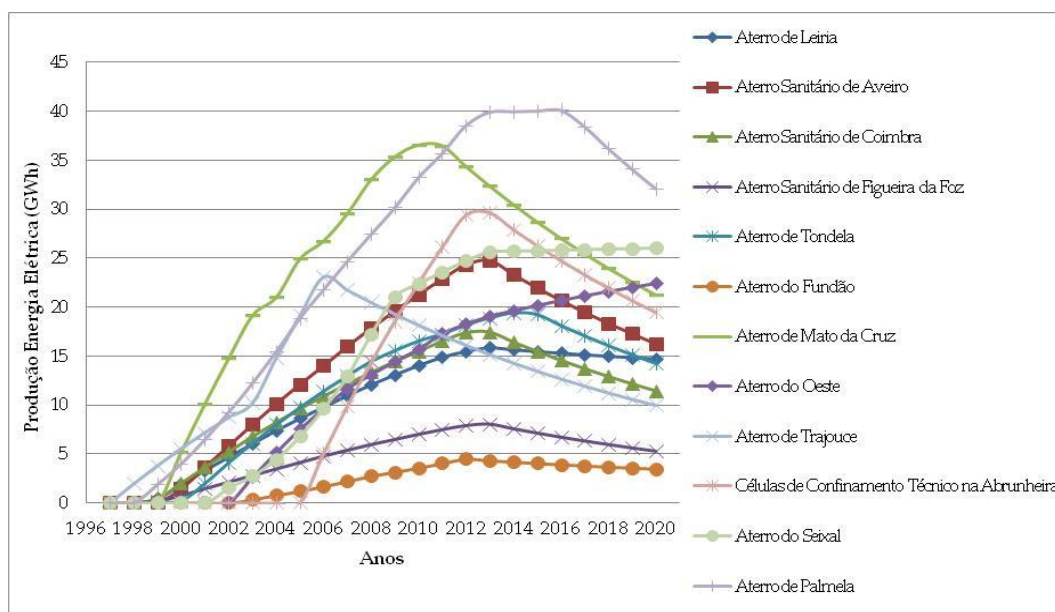
**Figura 4.4 – Desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Norte – Cenário Otimista.**

Na zona Norte para o período considerado, 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera 2.261 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto, para o mesmo período se irão evitar apenas 250 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de 2.011 ktCO<sub>2eq</sub> para a atmosfera.

#### **4.1.1.2 Zona Centro e LVT**

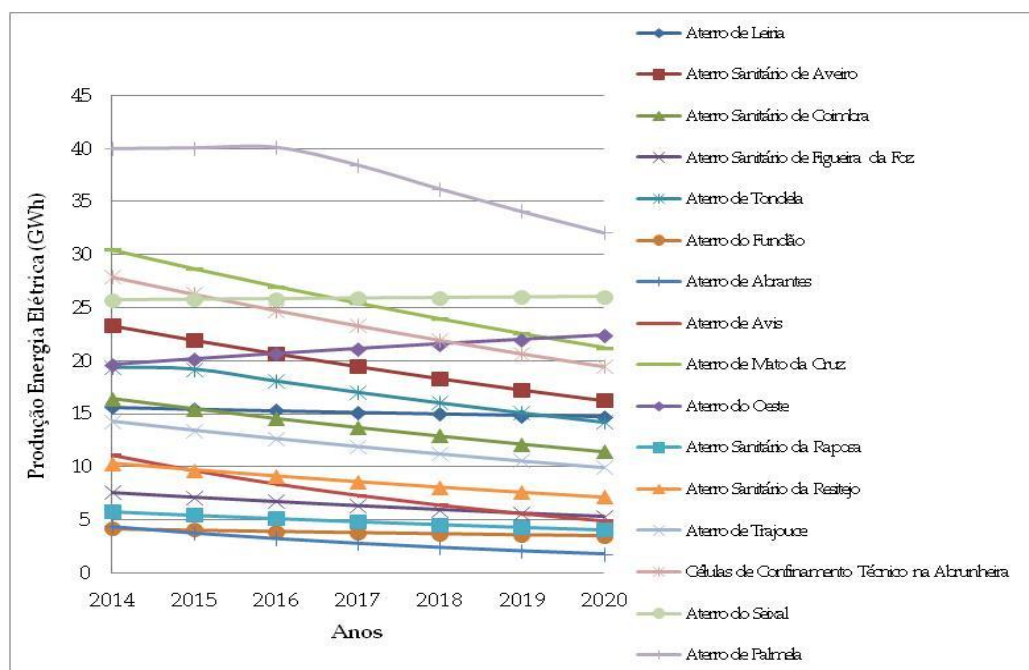
Na Figura 4.5 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona norte relativa ao período 1997-2020.

Pela análise da mesma, é possível visualizar os picos relativos aos anos de fecho de cada aterro. Na zona Centro e LVT os picos são bastante variáveis quando comparados com a zona Norte, no entanto, em média os aterros desta zona já fecharam em 2009. Na zona Centro o aterro de Palmela pertencente à Amarsul é o aterro com maior potencial para a produção de biogás e aproveitamento energético do mesmo, representado pela linha de cor roxa, seguido do aterro do Mato da Cruz da Valorsul, representado pela linha de cor verde.



**Figura 4.5 – Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT – Evolução da produção de energia elétrica no período 1997-2020 – Cenário Otimista.**

A Figura 4.6 mostra a evolução da produção de energia elétrica para o período 2014-2020. Este é um representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. Na zona Norte quase todos os aterros se encontravam em fase de decaimento. Na zona Centro e LVT a maioria dos seus aterros também se encontram em fase de decaimento, por outro lado o aterro do Oeste pertencente à Valorsul, representado pela linha roxa escura e o aterro do Seixal pertencente à Amarsul, representado pela linha verde clara, apresentam ligeiras subidas na produção de energia elétrica, devido ao facto do seu encerramento ser depois de 2020.



**Figura 4.6 - Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT - Evolução da Produção de energia elétrica 2014-2020 - Cenário Otimista.**

Para o período 2014-2020 na zona Centro e LVT irá produzir-se um total de energia elétrica de cerca de 1.548 GWh.

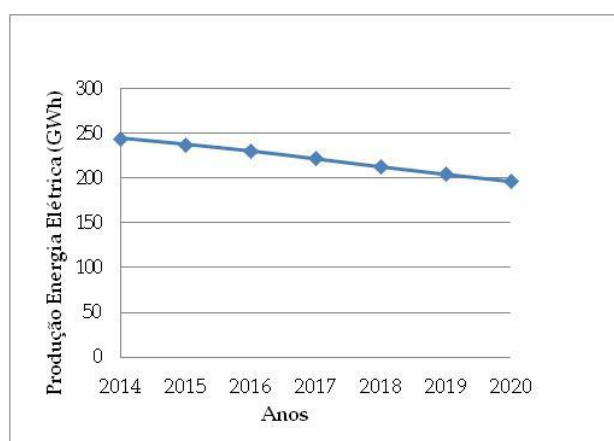
**Tabela 4.3 - Ano de fecho dos aterros sanitários da Zona Centro e LVT.**

Empresa Gestora	Nome do Aterro Sanitário	Ano de Fecho do Aterro Sanitário
Valorlis	Aterro de Leiria	2033
ERSUC	Aterro de Aveiro	2012
	Aterro de Coimbra	2012
	Aterro de Figueira da Foz	2012
Planalto Beirão	Aterro de Tondela	2014
Resiestrela	Aterro do Fundão	2080
Valorsul	Aterro de Mato da Cruz	2009
	Aterro do Oeste	2028
Tratolixo	Aterro de Trajouce	2005



Empresa Gestora	Nome do Aterro Sanitário	Ano de Fecho do Aterro Sanitário
Amarsul	Confinamento Técnico da Abrunheira	2012
	Aterro do Seixal	2034
	Aterro de Palmela	2016

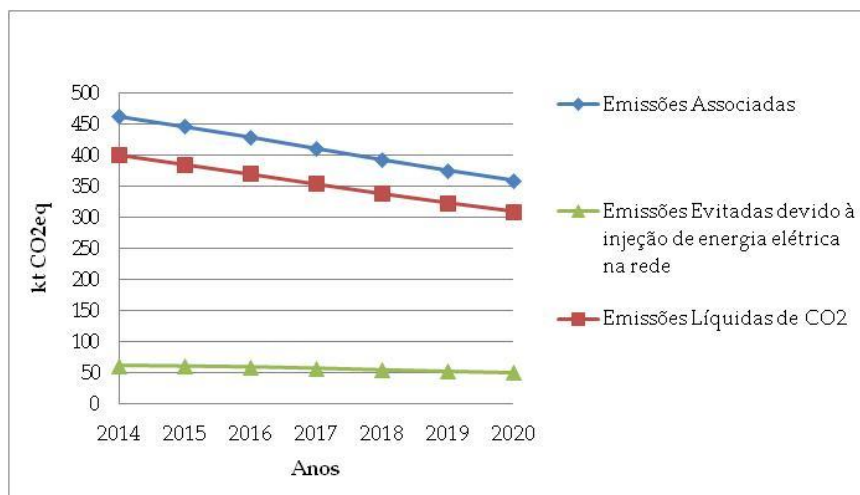
A produção de energia elétrica vai sofrer um ligeiro decréscimo (Figura 4.7) ao longo dos anos porque, como já foi explicado anteriormente, os aterros atingiram os seus picos em anos anteriores fazendo assim com que a produção de biogás decresça e, consequentemente o decréscimo também do seu aproveitamento energético.



**Figura 4.7 - Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT - Energia Elétrica Total produzida em 2014-2020 - Cenário Otimista.**

A Figura 4.8 mostra a desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Centro e LVT. É possível constatar que as emissões associadas à digestão anaeróbia não controlada nos aterros são superiores às emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.

Visto que todos os aterros neste cenário fazem aproveitamento energético do biogás gerado, haverá apenas uma situação, ou seja, colocação dos resíduos urbanos em aterro onde existe aproveitamento energético do biogás.



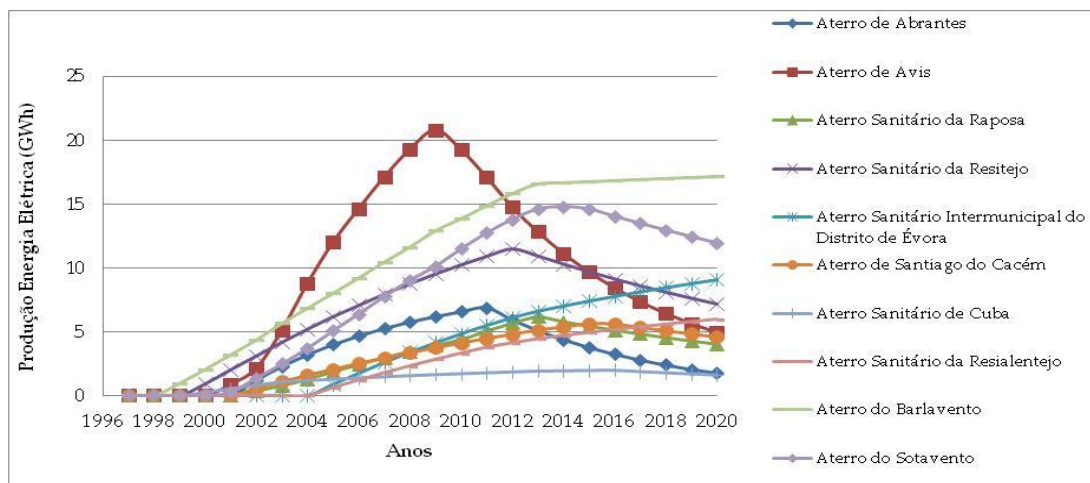
**Figura 4.8 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Centro e LVT - Cenário Otimista.**

Na zona Centro e LVT, para o período 2014-2020, irão ser emitidas para a atmosfera 2.879 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que, para o mesmo período, se irão evitar cerca de 396 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de 2.484 ktCO<sub>2eq</sub>.

#### **4.1.1.3 Zona Alentejo e Algarve**

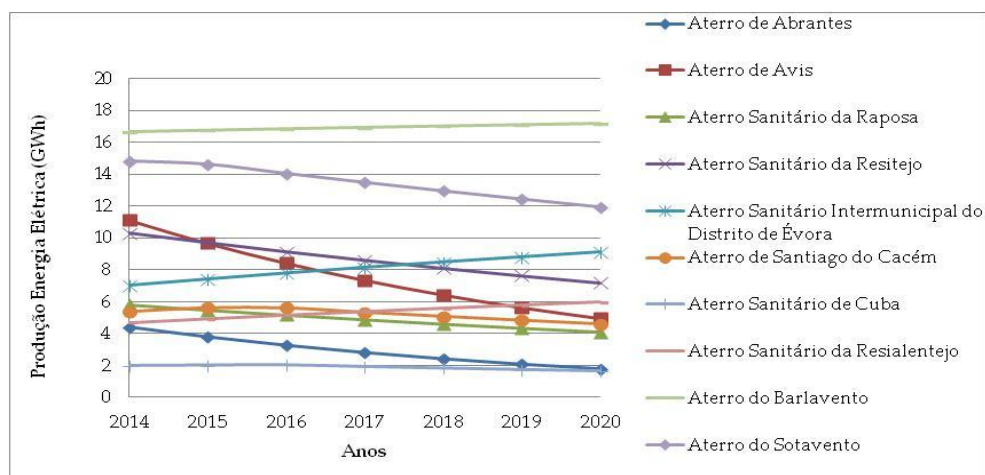
Na Figura 4.9 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona Alentejo Algarve relativa ao período 1997-2020.

Nesta é possível visualizar em alguns casos os picos da produção de biogás. Na zona Alentejo e Algarve, o aterro de Avis pertencente à Valnor, representado pela curva vermelha, é o aterro com maior potencial para a produção de biogás e, consequentemente, o seu aproveitamento energético. O aterro do Barlavento pertencente também à Algar, representado pela curva verde clara encontra-se imediatamente a seguir ao aterro do Barlavento.



**Figura 4.9 - Aterros Sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Evolução da Produção de energia elétrica 1997-2020 - Cenário Otimista.**

A Figura 4.10 mostra a evolução da produção de energia elétrica para o período 2014-2020. Este representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. Neste gráfico é possível visualizar ligeiras diferenças no comportamento da curva de produção de energia elétrica, de aterro para aterro devidas ao ano de fecho de cada um dos aterros. A Tabela 4.4 mostra os diferentes anos de fecho de cada um dos aterros da Zona do Alentejo e Algarve.



**Figura 4.10 - Aterros Sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Evolução da Produção de energia elétrica 2014-2020 - Cenário Otimista.**

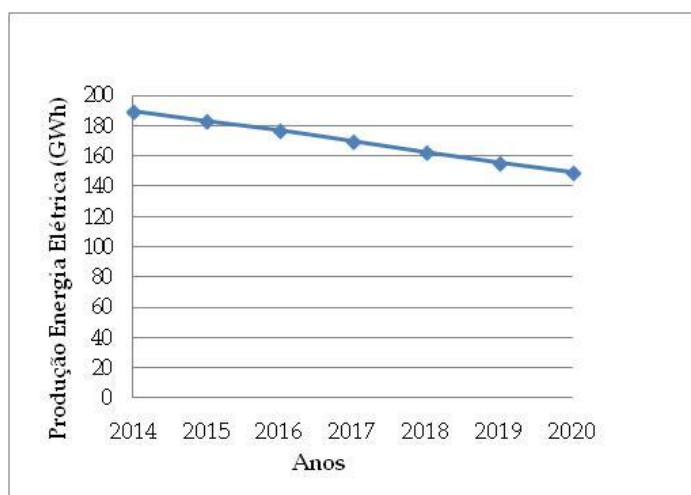
Para o período considerado de 2014-2020 na zona do Alentejo e Algarve, irá produzir-se um total de energia elétrica de 526 GWh.

**Tabela 4.4 - Ano de fecho dos aterros sanitários da Zona do Alentejo e Algarve.**

<b>Empresa Gestora</b>	<b>Nome do Aterro Sanitário</b>	<b>Ano de Fecho do Aterro Sanitário</b>
Valnor	Aterro de Abrantes	2010
	Aterro de Avis	N.D.
Ecolezíria	Aterro da Raposa	2012
Resitejo	Aterro da Resitejo	2012
Gesamb	Aterro de Évora	2027
Ambital	Aterro de Santiago do Cacém	2015
AMCAL	Aterro de Cuba	2015
Resialentejo	Aterro da Resialentejo	2023
Algar	Aterro do Barlavento	2026
	Aterro do Sotavento	2014

N.D. - Não definido

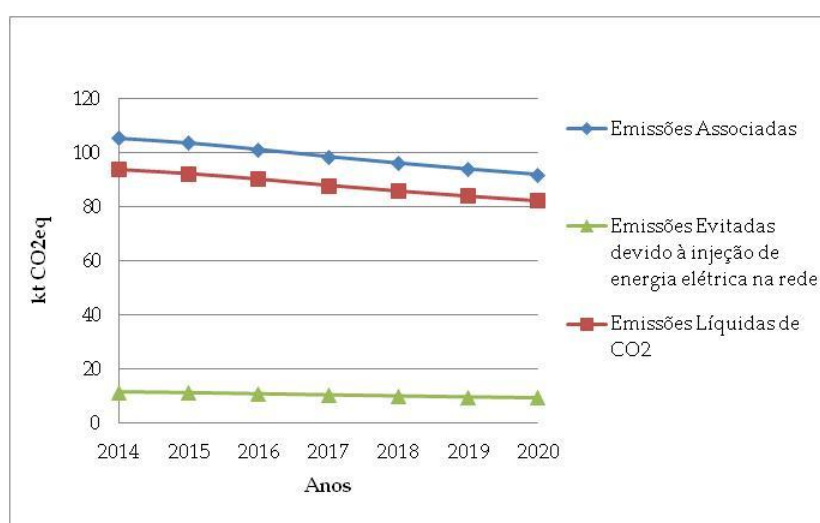
A Figura 4.11 mostra que até 2016 a produção de biogás irá crescer chegando ao seu pico neste mesmo ano. A partir de 2016 a produção de biogás e o seu aproveitamento energético decairão tal como acontece nas outras duas zonas já apresentadas.



**Figura 4.11 - Aterros Sanitários Zona do Alentejo e Algarve - Energia Elétrica Total produzida em 2014-2020 - Cenário Otimista.**

O gráfico apresentado na Figura 4.12 mostra a desagregação das emissões nos aterros sanitários da Zona do Alentejo e Algarve. É possível constatar que as emissões associadas à digestão anaeróbia não controlada nos aterros são superiores às emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede.

Visto que todos os aterros neste cenário fazem aproveitamento energético do biogás gerado, haverá apenas uma situação, ou seja, colocação dos resíduos urbanos em aterro onde existe aproveitamento energético do biogás.



**Figura 4.12 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Cenário Otimista.**

Na zona Sul para o período de 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera 691 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que, para o mesmo período se irão evitar cerca 74 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de 617 ktCO<sub>2eq</sub>.

#### **4.1.1.4 Recomendações**

Para que o biogás produzido seja totalmente aproveitado torna-se necessário que alguns dos aterros aumentem a sua potência instalada, instalando novos motores ou, no caso dos aterros que ainda não fazem aproveitamento energético, instalem motores.

Numa fase inicial deve fazer-se um investimento mais reduzido dos motores a instalar (instalação de menores potências), visto que os valores calculados em teoria, muitas vezes devido a diversas variantes relacionadas com as condições naturais a que estão sujeitos os aterros, não correspondem aos

valores obtidos na prática. Se o motor instalado com baixa potência, na prática estiver sempre a funcionar em cargas elevadas, aí deverá então ponderar-se a colocação de novos motores para que se possa maximizar o aproveitamento do biogás captado do aterro.

A Tabela 4.5 mostra os motores comercializáveis que podem ser instalados.

**Tabela 4.5 - Tipos de motores que podem ser instalados (GE Infrastructure, s.d.).**

<b>Nome do motor</b>	<b>Potência do motor (MW)</b>	<b>Capacidade de processamento (MWh)</b>
Jenbacher Type 2	0,35	3.066
Jenbacher Type 3	1,10	9.636
Jenbacher Type 4	1,50	13.140
Jenbacher Type 6	3,00	26.280

A Tabela 4.6 apresenta as recomendações ao nível da instalação de novos motores para a maximização do aproveitamento energético do biogás captado, no entanto, as recomendações são meramente obtidas através dos cálculos efetuados teoricamente que poderão não ser necessários aplicar na prática.

**Tabela 4.6 - Recomendações - Instalação de novos motores para melhor aproveitamento energético do biogás – Cenário Otimista.**

<b>Nome do Aterro Sanitário</b>	<b>Potência Instalada (MW)</b>	<b>Potência do Novo Motor (MW)</b>	<b>Potência Total Instalada (MW)</b>
Aterro de Póvoa de Lanhoso	1,1	0,35	1,45
Aterro de Codessoso	0,8	0,35	1,15
Aterro de Bigorne	N.A.	0,35	0,35
Aterro de Boticas	N.A.	0,35	0,35
Aterro de Santo Tirso	N.A.	1,5	1,5
Aterro de Vila Real	N.A.	2x0,35	0,7
Aterro da Maia	N.A.	2x0,35	0,7
Novo Aterro - Gestal	N.A.	3	3

Nome do Aterro Sanitário	Potência Instalada (MW)	Potência do Novo Motor (MW)	Potência Total Instalada (MW)
Aterro de Urjais	0,8	0,35	1,15
Aterro de Leiria	0,9	2x0,35	1,6
Aterro de Aveiro	1,2	1,1	2,3
Aterro de Coimbra	0,9	1,1	2
Aterro de Avis	N.A.	0,35	0,35
Aterro de Mato da Cruz	1,7	1,5	3,2
Aterro do Oeste	1,1	1,1	2,2
Aterro de Trajouce	0,8	0,35	1,15
Confinamento Técnico da Abrunheira	N.A.	3	3
Aterro do Seixal	2,4	0,35	2,75
Aterro de Palmela	2,4	1,1	3,5
Aterro de Évora	N.A.	1,1	1,1
Aterro de Cuba	N.A.	0,35	0,35
Aterro da Resialentejo	N.A.	2x0,35	0,7
Aterro do Barlavento	1,7	0,35	2,05
Aterro do Sotavento	1,2	0,35	1,55

N.A. – Não aplicável

#### 4.1.2 Cenário PERSU

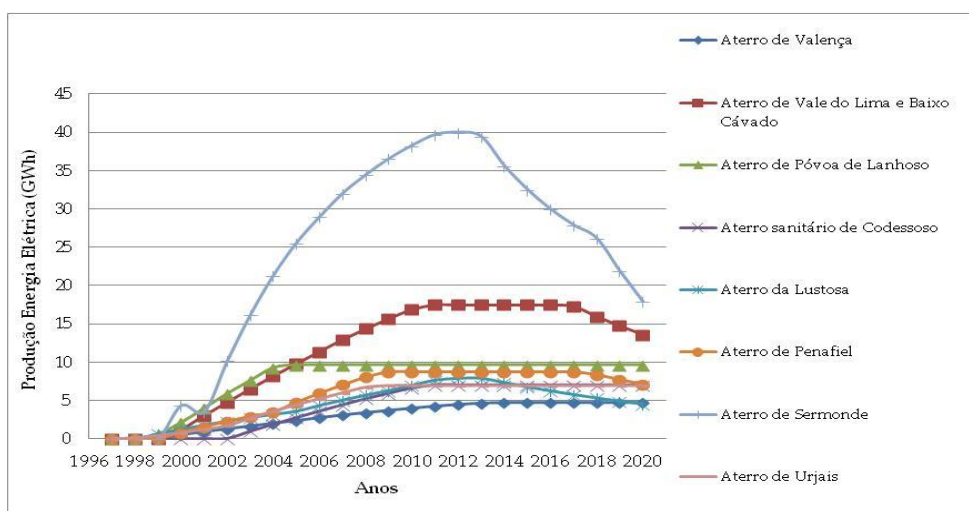
O Cenário PERSU foi desenhado tendo em conta todas as linhas definidas pelo novo documento, o PERSU 2020, correspondendo este a uma situação ideal e real, que, a curto/médio prazo será concretizável.

##### 4.1.2.1 Zona Norte

Na Figura 4.13 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona Norte relativa ao período 1997-2020.

A Figura 4.13 demonstra as curvas da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários no período 1997-2020 para a zona Norte. É possível

observar uma estabilização da maioria das curvas a partir de sensivelmente 2010/2011. Esta estabilização das curvas está relacionada com a restrição dos motores instalados em cada um dos aterros sanitários. Pode concluir-se então, que a maioria dos aterros da zona Norte não estão a conseguir fazer o aproveitamento total do biogás gerado devido às restrições da potência instalada. O aterro de Sermonde pertencente à Suldouro, representado pela linha azul clara, e o aterro de Tondela pertencente à Planalto Beirão, representado pela linha roxa clara, são exceções, significando que estes têm uma potência instalada adequada para o aproveitamento total do biogás gerado nos seus aterros.

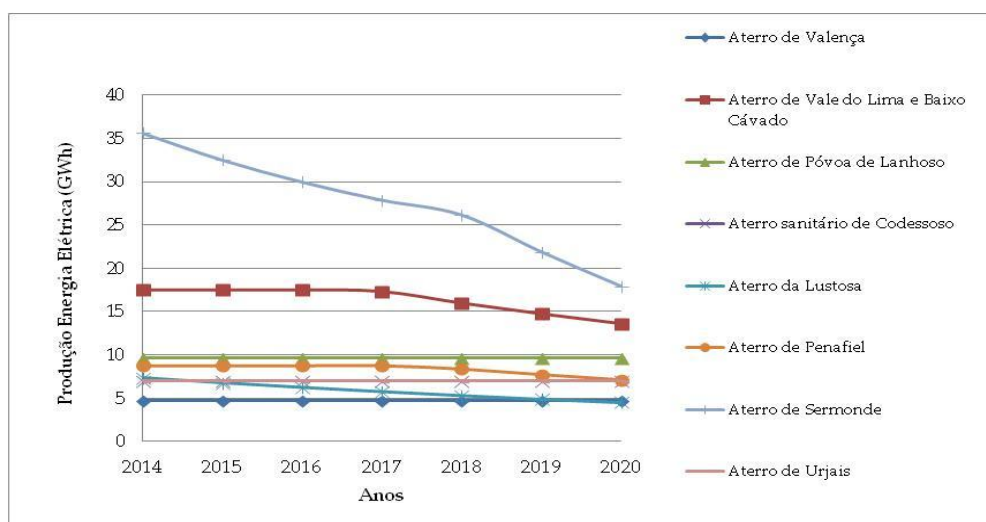


**Figura 4.13 - Aterros Sanitários Zona Norte - Evolução da Produção Elétrica 1997-2020 - Cenário PERSU.**

O gráfico representado na Figura 4.14 mostra a evolução da produção de energia elétrica para o período 2014-2020. Este representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. Aqui é possível ver que a maioria dos aterros no período referido terá a sua produção de energia elétrica estável e limitada ao máximo que cada motor consegue gerar de energia elétrica. No cenário Otimista analisou-se que a sua limitação da produção de energia elétrica seria o ano de fecho de cada um dos aterros, porém para este cenário a sua limitação na produção de energia elétrica será a potência instalada em cada um dos aterros.



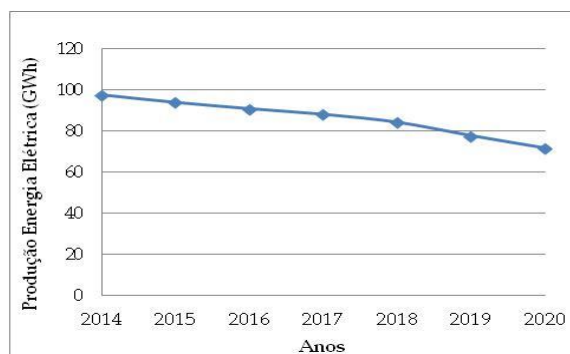
O aterro de Sermonde pertencente à Suldouro, encontra-se em fase de decaimento para o período em análise tendo chegado ao seu pico máximo em 2012. O aterro de Tondela pertencente ao Planalto Beirão entrará em fase de decaimento a partir de 2015, e, o aterro de Vale do Lima e Baixo Cávado pertencente à Resulima entrará em fase de decaimento em 2017.



**Figura 4.14 - Aterros Sanitários Zona Norte - Evolução da Produção Elétrica 2014-2020 - Cenário PERSU.**

Para o período 2014-2020 na Zona Norte irá produzir-se um total de energia elétrica de cerca de 978 GWh.

A produção de energia elétrica vai sofrer um ligeiro decréscimo ao longo dos anos (Figura 4.15) explicado pelo período de decaimento da produção de biogás após o encerramento dos aterros sanitários. O decaimento da produção de energia elétrica dos aterros de Sermonde, Tondela, e, Vale do Lima e Baixo Cávado têm algum peso.

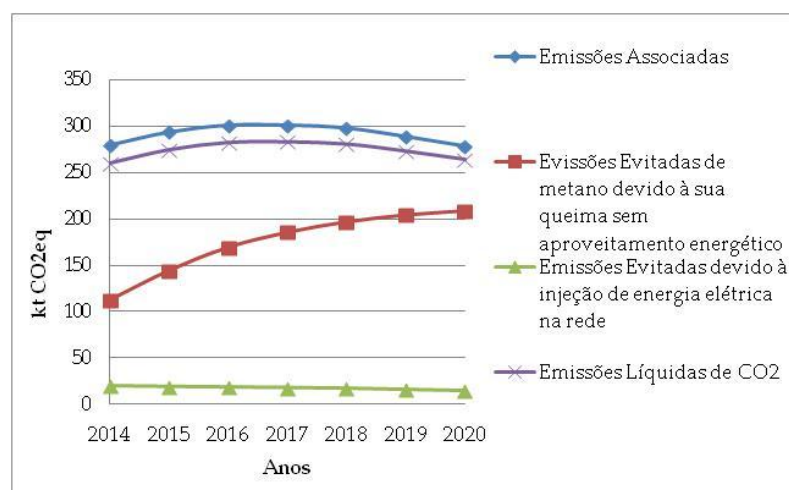


**Figura 4.15 - Aterros Sanitários Zona Norte - Energia Elétrica Total Produzida 2014-2020 - Cenário PERSU.**

A Figura 4.16 mostra a desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Norte. Neste cenário é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado e este é queimado nos *flares*. Assim através deste gráfico podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);
- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)

As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



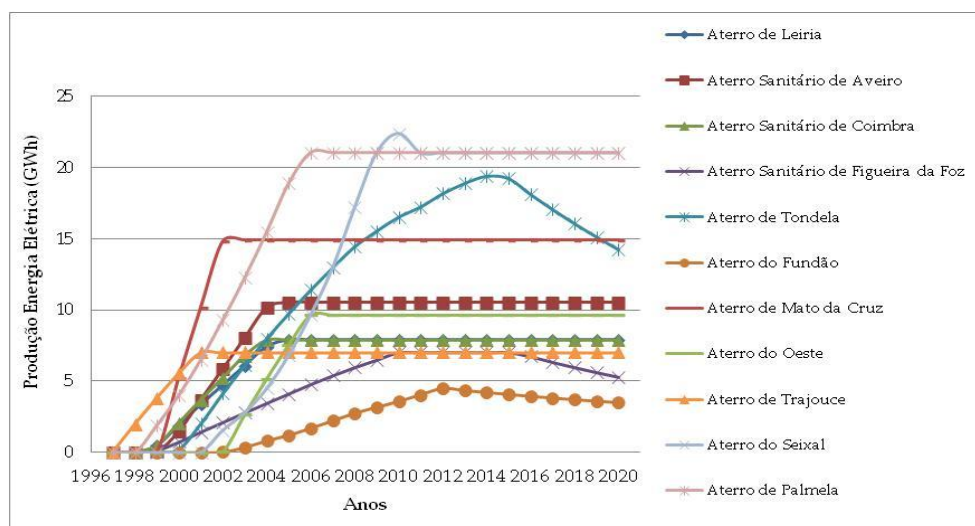
**Figura 4.16 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da Zona Norte - Cenário PERSU.**

Na Zona Norte para o período 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera cerca de 2.789 ktCO<sub>2eq</sub> enquanto que, para o mesmo período se irá evitar um total de cerca de 1.422 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo a uma emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 1.367 ktCO<sub>2eq</sub>.

#### 4.1.2.2 Zona Centro e LVT

Na Figura 4.17 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona Centro e LVT relativa ao período 1997-2020.

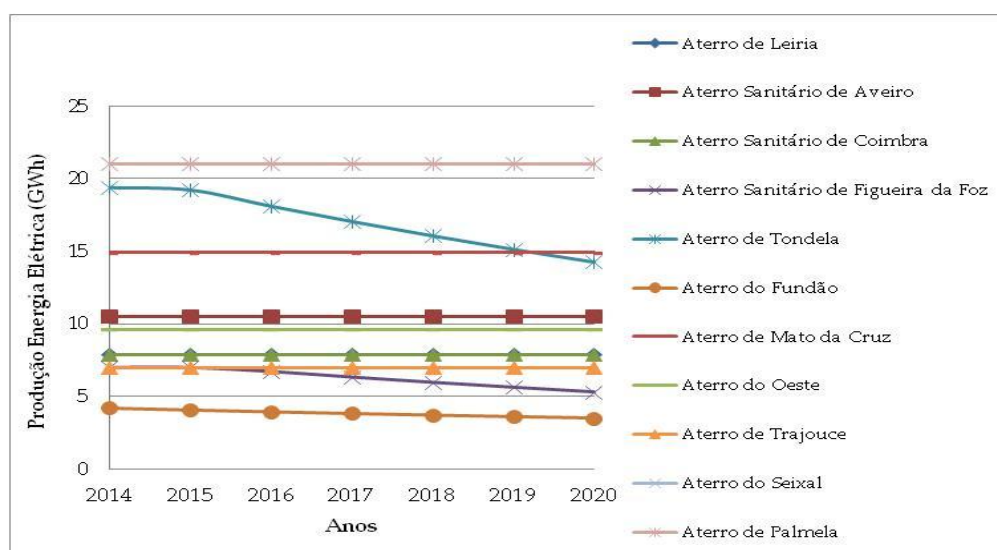
É possível verificar a estabilização de algumas curvas sendo variável o ano de estabilização. Esta estabilização, mais uma vez, está relacionada com a restrição da potência instalada em cada um dos aterros sanitários podendo-se assim concluir que a maioria dos aterros da Zona Centro e LVT não estão a conseguir fazer o aproveitamento total de biogás gerado nos seus aterros devido às restrições da potência instalada em cada um deles. O aterro da Figueira da Foz pertencente à ERSUC e o aterro de Tondela pertencente à Planalto Beirão representam exceções, visto que a potência que têm atualmente instalada conseguirá responder às necessidades energéticas.



**Figura 4.17 - Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT - Evolução da Produção Elétrica 1997-2020 - Cenário PERSU.**

A Figura 4.18 mostra a evolução da produção de energia elétrica para o período considerado de 2014-2020. Este representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. Aqui é possível ver que a maioria dos aterros no período referido terá a sua produção de energia elétrica estável e limitada ao máximo que cada motor consegue gerar de energia elétrica. Assim, neste cenário, verifica-se que a limitação na produção de energia elétrica está na potência instalada em cada um dos aterros, ao contrário do verificado no Cenário Otimista em que a limitação da produção de energia elétrica estava relacionada com o ano de encerramento do aterro.

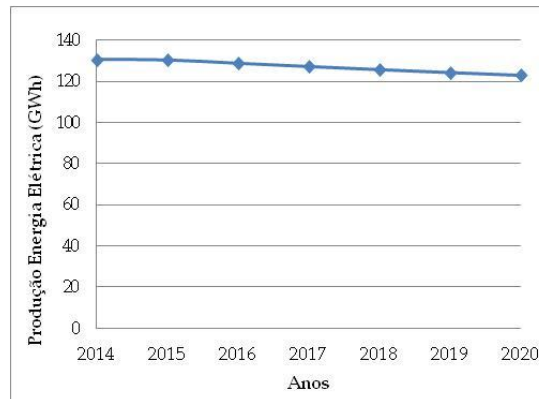
O aterro da Figueira da Foz pertencente à ERSUC e o aterro de Tondela pertencente à Planalto Beirão, como é possível observar pelo gráfico no período referido, encontram-se já em fase de decaimento, enquanto os restantes encontram-se limitados às suas potências instaladas.



**Figura 4.18 - Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT - Evolução da Produção Elétrica 2014-2020 - Cenário PERSU.**

Para o período 2014-2020 na Zona Centro e LVT irá produzir-se um total de energia elétrica de cerca de 889 GWh.

O decréscimo da produção de energia elétrica pela análise da Figura 4.19 é bastante evidente sendo explicado pelo decaimento da produção de biogás devido ao encerramento dos aterros sanitários.



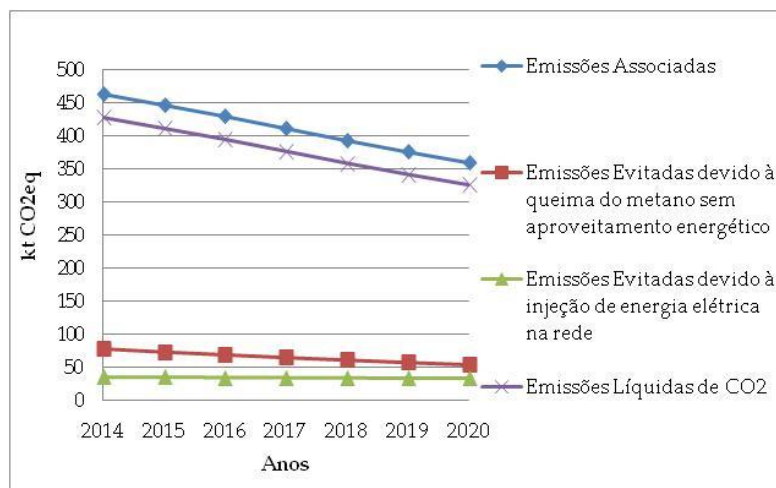
**Figura 4.19 - Aterros Sanitários da Zona Centro e LVT - Energia Elétrica Total Produzida 2014-2020 - Cenário PERSU.**

O gráfico representado na Figura 4.20 indica a desagregação das emissões nos aterros sanitários. Neste cenário é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado e este é queimado nos *flares*. Assim através da Figura 4.20 podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);

- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)

As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



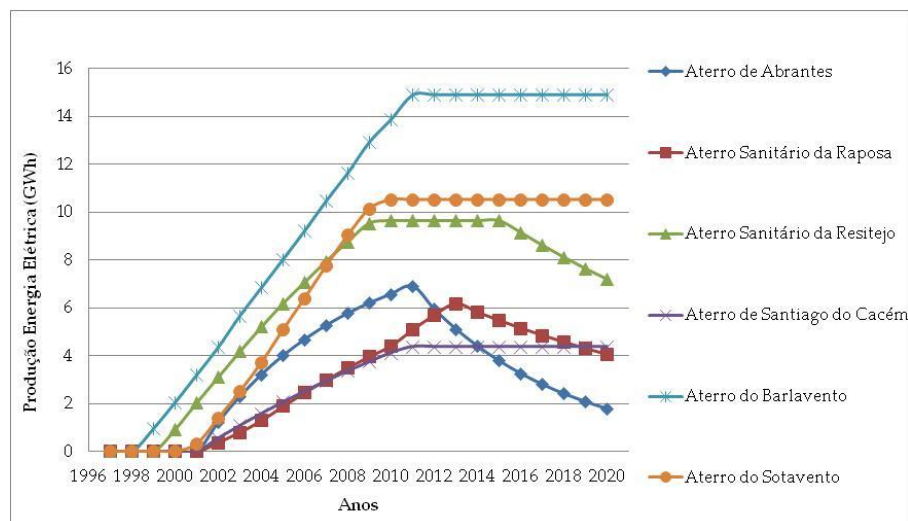
**Figura 4.20 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da Zona Centro e LVT - Cenário PERSU.**

Na Zona Centro para o período 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera 2.879 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que para o mesmo período se irão evitar um total de 169 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida 2.634 ktCO<sub>2eq</sub>.

#### **4.1.2.3 Zona do Alentejo e Algarve**

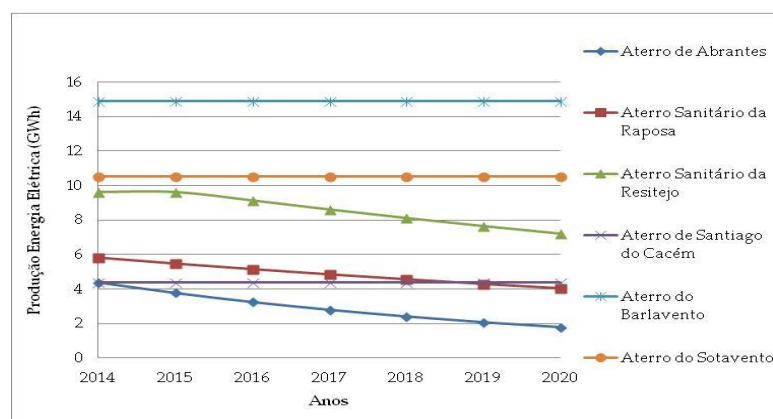
Na Figura 4.21 é apresentado o gráfico da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários da zona do Alentejo e Algarve relativa ao período 1997-2020.

Esta demonstra as curvas da evolução da produção de energia elétrica nos aterros sanitários no período 1997-2020 para a Zona do Alentejo e Algarve. É possível verificar a estabilização das curvas por volta de 2010/2011. Esta estabilização, mais uma vez, está relacionada com a restrição da potência instalada em cada um dos aterros sanitários podendo-se assim concluir que a maioria dos aterros situados na zona do Alentejo e Algarve não estão a conseguir fazer o aproveitamento total de biogás gerado nos seus aterros devido às restrições da potência instalada em cada um deles. O aterro sanitário da Raposa pertencente à Ecoléziria e o aterro sanitário de Abrantes pertencente à Valnor, são exceções, estes com a potência instalada atualmente, conseguirão tirar total proveito energético do biogás gerado.



**Figura 4.21 - Aterros Sanitários Zona do Alentejo e Algarve - Evolução da Produção Elétrica 1997-2020 - Cenário PERSU.**

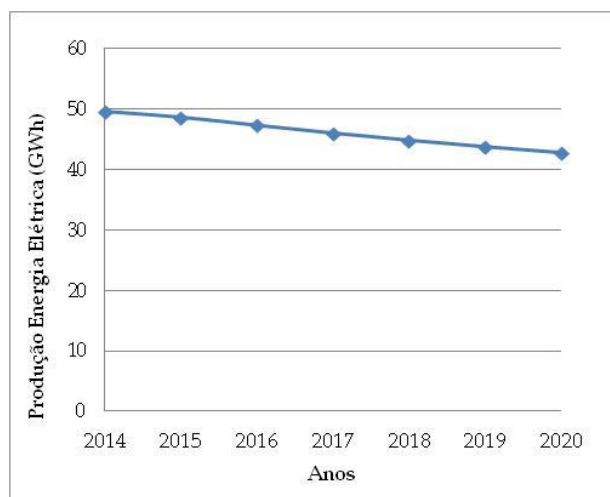
A Figura 4.22 mostra a evolução da produção de energia elétrica para o período 2014-2020. Este representa a ampliação de parte do gráfico mostrado anteriormente e por isso aqui é possível fazer uma avaliação mais detalhada da produção de energia elétrica. Aqui é possível ver que os aterros analisados têm a sua produção de energia elétrica estável. Esta estabilidade está relacionada com a limitação da potência instalada em cada um dos aterros. O aterro da Resitejo pertencente à Resitejo e o aterro de Abrantes pertencente à Valnor são os únicos dois aterros que se encontram em fase de decaimento nesta zona de Portugal.



**Figura 4.22 - Aterros Sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Evolução da Produção Elétrica 2014-2020 - Cenário PERSU.**

Para o período 2014-2020 na Zona do Alentejo e Algarve irá produzir-se um total de energia elétrica de cerca de 323 GWh.

O decréscimo da produção de energia elétrica pela análise da Figura 4.23 é evidente sendo explicado pelo decaimento da produção de biogás devido ao encerramento dos aterros sanitários.



**Figura 4.23 - Aterros Sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Energia Elétrica Produzida 2014-2020 - Cenário PERSU.**

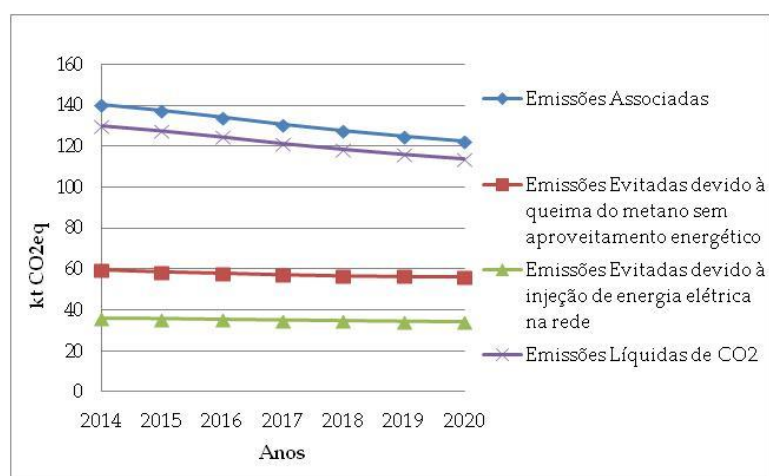
O gráfico representado na Figura 4.24 indica a desagregação das emissões nos aterros sanitários. Neste cenário é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado, e este é queimado nos *flares*. Assim através da Figura 4.24 podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);

- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)



As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



**Figura 4.24 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da Zona do Alentejo e Algarve - Cenário PERSU.**

Na zona Sul para o período 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera 918 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que para o mesmo período se irão evitar cerca de 66 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 852 ktCO<sub>2eq</sub>.

#### **4.1.2.4 Recomendações**

As recomendações para este cenário são exatamente as mesmas que as realizadas para o Cenário Otimista – Ver Tabela 4.6.

### 4.1.3 Cenário Pessimista

Este cenário em termos de produção de energia elétrica é exatamente igual ao cenário PERSU. Como tal, para este cenário não será feita nenhuma análise energética, sendo apenas efetuada uma análise às emissões associadas e evitadas.

O presente cenário difere do cenário PERSU nos seguintes aspetos: emissões associadas e evitadas e quantidades de resíduos que darão entrada em cada um dos aterros que influenciará as emissões associadas e evitadas.

A abordagem utilizada para este cenário será a mesma abordagem utilizada para os outros dois cenários já apresentados sendo que os aterros serão divididos por zonas (Zona Norte, Zona Centro e LVT e Zona do Alentejo e Algarve).

#### 4.1.3.1 Zona Norte

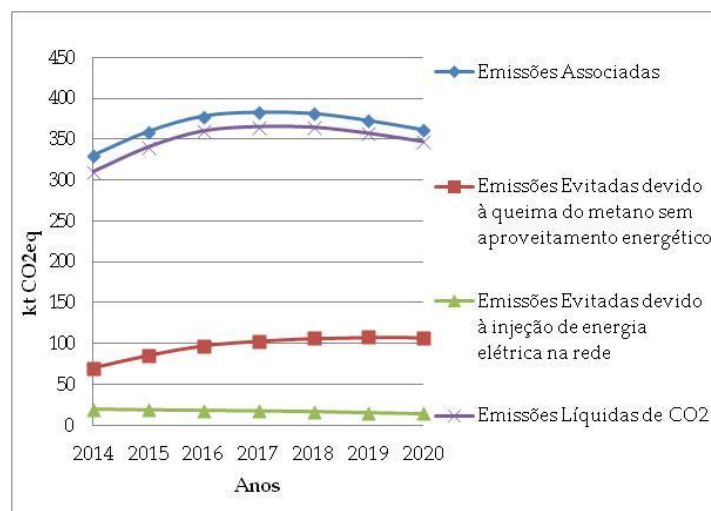
O gráfico representado na Figura 4.25 indica a desagregação das emissões nos aterros sanitários. Neste cenário, tal como no anterior, é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado e este é queimado nos *flares*. Assim através da Figura 4.24 podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);

- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)

As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades

de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



**Figura 4.25 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Norte - Cenário Pessimista.**

Na zona Norte para o período 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera 3.315 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que para o mesmo período se irão evitar cerca de 198 kCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 3.117 kCO<sub>2eq</sub>.

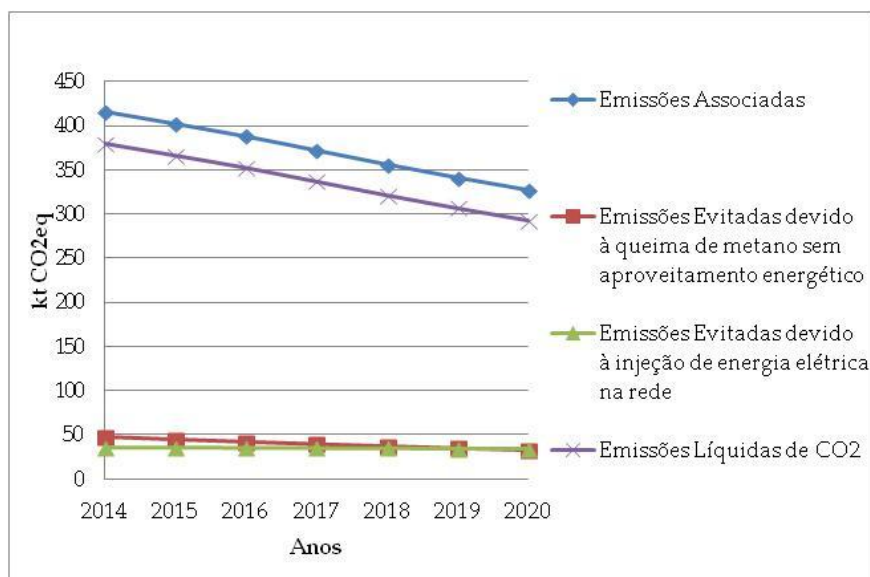
#### **4.1.3.2 Zona Centro e LVT**

O gráfico representado na Figura 4.26 indica a desagregação das emissões nos aterros sanitários. Neste cenário, tal como no anterior, é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado e este é queimado nos *flares*. Assim através da Figura 4.26 podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);

- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)

As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



**Figura 4.26 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona Centro e LVT - Cenário Pessimista.**

Na Zona Centro e LVT, para o período considerado de 2014-2020, irão ser emitidas para a atmosfera 2.601 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que, para o mesmo período se irão evitar cerca de 169 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 2.356 ktCO<sub>2eq</sub>.

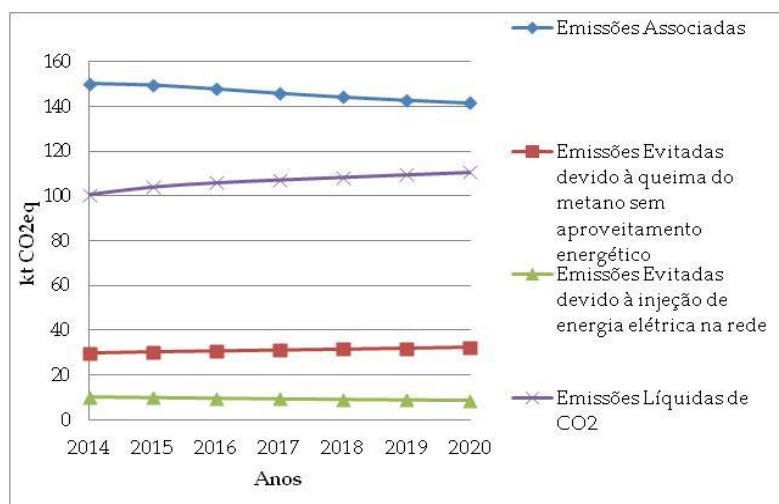
#### **4.1.3.3 Zona do Alentejo e Algarve**

O gráfico representado na Figura 4.27 indica a desagregação das emissões nos aterros sanitários. Neste cenário, tal como no anterior, é feita a análise de dois tipos de aterro: os aterros onde existe aproveitamento energético do biogás gerado e os aterros onde não é feito qualquer aproveitamento energético do biogás gerado, e este é queimado nos *flares*. Assim, através da Figura 4.27 podem ser estudados dois tipos de abordagem:

- Se os resíduos forem colocados em aterros que efetuam aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul), as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva verde) e as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (curva roxa);

- Se os resíduos forem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões associadas (curva azul) e as emissões evitadas devido à queima do metano sem aproveitamento energético (curva vermelha)

As emissões associadas devidas ao não controlo da digestão anaeróbia nos aterros são muito superiores às outras todas analisadas. Em aterros onde se efetua o aproveitamento energético emitem-se menores quantidades de gases com efeito de estufa, logo, as emissões evitadas serão inferiores. Aterros em que não se faça aproveitamento energético do biogás, emitem maiores quantidades de gases com efeito de estufa prejudiciais à atmosfera, nomeadamente o metano, logo, as emissões evitadas serão superiores.



**Figura 4.27 - Desagregação das emissões nos aterros sanitários da zona do Alentejo e Algarve - Cenário Pessimista.**

Na Zona do Alentejo e Algarve, para o período 2014-2020, irão ser emitidas para a atmosfera 1.023 ktCO<sub>2eq</sub>, enquanto que para o mesmo período se irão evitar um total de 66 ktCO<sub>2eq</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 747 ktCO<sub>2eq</sub>.

## 4.2 CVO/TMB

Para cada CVO/TMB foi foram efetuados os cálculos da produção de energia elétrica potencial e biogás. De seguida serão mostrados os resultados obtidos para cada CVO/TMB, de acordo com cada cenário, fazendo-se também acompanhar a análise dos resultados obtidos.

Na Tabela 4.7 encontram-se representadas as quantidades de RUB (t RUB) que entram no digestor e que são iguais para todos os cenários analisados.

**Tabela 4.7 - Quantidades de RUB que dão entrada no digestor por ano (t RUB).**

CVO/TMB	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CVO Sermonde		13.170	18.670	23.650	23.650	23.650	23.650	23.650	23.650	23.650
TMB Aveiro		13.097	29.597	51.597	104.500	104.500	104.500	104.500	104.500	104.500
TMB Coimbra		20.654	31.654	53.654	104.500	104.500	104.500	104.500	104.500	104.500
CVO Leiria	16.085	20.524	27.500	27.500	27.500	27.500	27.500	27.500	27.500	27.500
ETVO	16.873	16.398	16.352	21.852	22.000	43.852	54.852	66.000	66.000	66.000
CVO Avis		17.531	20.321	25.631	33.750	33.750	33.750	33.750	33.750	33.750
CDA Abrunheira		5.022	67.697	94.026	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000	108.000
TMB Resulima						5.420	15.701	60.500	60.500	60.500
TMB São Brás Alportel					5.360	13.831	27.500	27.500	27.500	27.500
TMB Barlavento					24.690	41.105	50.500	50.500	50.000	50.500
CVO Amarsul				3.700	13.758	31.001	66.960	66.960	66.960	66.960
UTMB Urjais				5.761	11.409	30.250	30.250	30.250	30.250	30.250
CVO Planalto Beirão				71.500	71.500	71.500	71.500	71.500	71.500	71.500

#### 4.2.1 Cenário Otimista

Na Tabela 4.8 serão mostrados os parâmetros utilizados na modelação por CVO/TMB. Os parâmetros escolhidos tiveram como base a Tabela 3.4 apresentada no capítulo 3.

**Tabela 4.8 - Parâmetros utilizados na modelação das CVO/TMB - Cenário Otimista.**

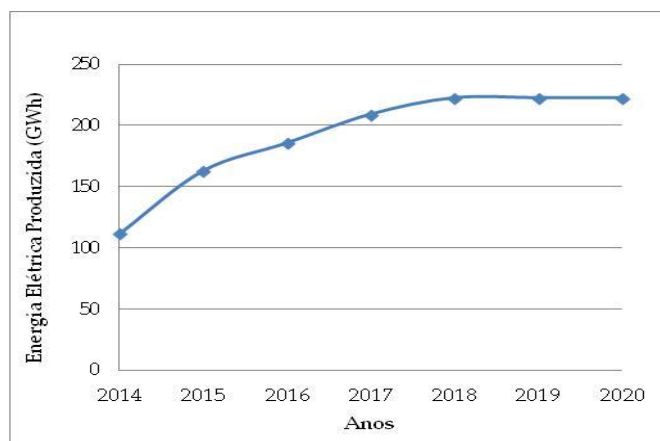
Empresa Gestora	Nome da CVO/TMB	Parâmetro 1 (m <sup>3</sup> biogás/t RUB)	Parâmetro 2 (kWh produzido/t RUB)
Suldouro	CVO Sermonde	150	340
ERSUC	TMB Aveiro	140	260
	TMB Coimbra	150	240
Valorlis	CVO Leiria	150	370
Valorsul	ETVO	188	366
Valnor	CVO Avis	100	130
Tratolixo	CDA Abrunheira	150	330
Resulima	TMB Resulima	140	300
Algar	TMB São Brás Alportel	150	240
	TMB Barlavento	160	230
Amarsul	CVO Amarsul	160	300
Resíduos do Nordeste	UTMB Urjais	150	325
Planalto Beirão	CVO Planalto Beirão	180	300

Através dos dados representados na Tabela 4.7 e na Tabela 4.8 foi possível efetuar o cálculo da quantidade de biogás produzido em cada uma das CVO/TMB bem como a quantidade de energia elétrica produzida através dessa mesma quantidade de biogás.

##### 4.2.1.1 Produção de Energia Elétrica

O gráfico representado abaixo, na Figura 4.28 mostra a produção de energia elétrica no período 2014-2020.

Da análise do gráfico da Figura 4.28 é possível constatar que a produção de energia elétrica nas CVO/TMB irá aumentar de 2014 a 2017 e de 2017 a 2020 tenderá a manter-se estável. O ligeiro aumento da produção de energia elétrica está associado à construção das novas CVO/TMB. A estabilização por volta de 2018 está relacionada com o facto de não estarem previstas mais construções de CVO/TMB.



**Figura 4.28 - Produção de Energia Elétrica nas CVO/TMB - Cenário Otimista.**

A CVO/TMB que se espera venha a produzir a maior quantidade de energia elétrica no período 2014-2020 é a Central de Digestão Anaeróbia da Abrunheira pertencente à Tratolixo, com uma produção de energia elétrica de cerca de 245 GWh, seguida da TMB de Aveiro pertencente à ERSUC, com uma produção de cerca de 176 GWh. A que se espera venha a ter uma contribuição menor em termos de produção de energia elétrica é a TMB de São Brás de Alportel pertencente à Algar, uma vez que só entrará em funcionamento em 2015 e, como tal, só em 2018 se estima que esteja em plena operação.

Para o período 2014-2020 serão produzidos um total de cerca de 1.335 GWh de energia elétrica a partir de 717.207.507 m<sup>3</sup> de biogás.

#### **4.2.1.2 Emissões Evitadas**

Relativamente às emissões evitadas, na Figura 4.29 encontra-se representado o respetivo gráfico.

Analisando o gráfico apresentado na Figura 4.29, é possível concluir que as emissões evitadas no período de 2014-2020 terão tendência a aumentar devido ao facto de se estarem a tomar medidas no sentido de, cada vez mais, se

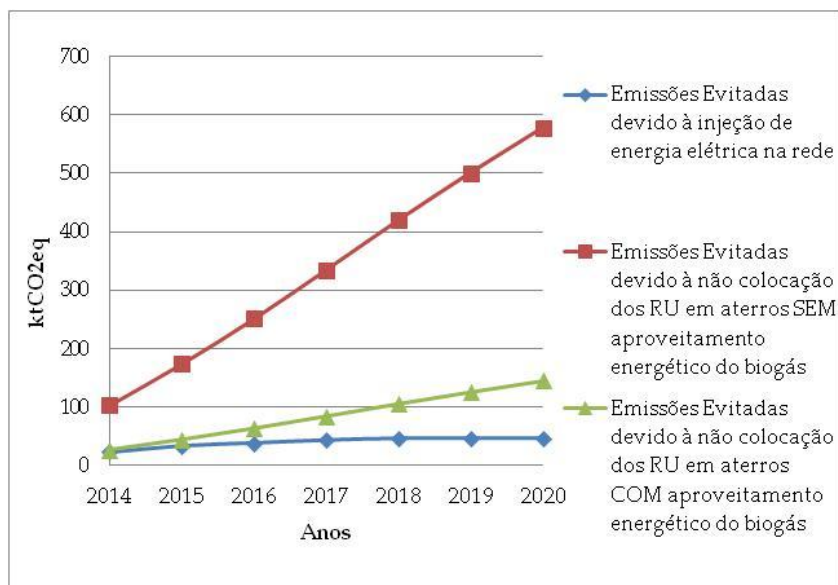


aproveitarem os recursos que antes eram desperdiçados. Estas medidas que hoje se estão a tomar, conduzem também a uma melhoria futura para o ambiente.

O gráfico representado na Figura 4.29 indica a desagregação das emissões nas CVO/TMB. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

- As emissões evitadas se os resíduos forem colocados na CVO/TMB e se fizer o aproveitamento energético do biogás gerado através da digestão anaeróbia controlada (curva azul);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado (curva vermelha);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado (curva verde).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás. A melhor opção será mesmo o envio dos RU para as CVO/TMB, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica a fração orgânica contida nos mesmos.



**Figura 4.29 - Emissões Evitadas nas CVO/TMB - Cenário Otimista.**

No período de 2014-2020 estima-se que serão evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 270 ktCO<sub>2</sub>.

#### **4.2.1.3 Recomendações**

Para que o biogás produzido seja totalmente aproveitado torna-se necessário aumentar a potência instalada, instalando novos motores.

Numa fase inicial deve fazer-se um investimento mais reduzido nos motores a instalar (instalação de menores potências), visto que os valores teóricos calculados, frequentemente, por vários motivos, não correspondem aos valores obtidos na prática.

Se o motor instalado vier a revelar-se subdimensionado, i.e.: estiver frequentemente a funcionar em regimes elevados, nos limites, deverá ponderar-se a aquisição de motores adicionais, cuja potência total esteja de acordo com a maximização do aproveitamento do biogás produzido através da digestão anaeróbia dos RUB.

A Tabela 4.9 apresenta as recomendações ao nível da instalação de novos motores para a maximização do aproveitamento energético do biogás produzido. Os cálculos efetuados são teóricos, carecem de ser confirmados na prática.

Recomenda-se que, após a análise prática, os valores de potências sugeridos sejam confirmados ou reajustados em conformidade com os resultados obtidos.

**Tabela 4.9 - Recomendações - Instalação de novos motores para melhor aproveitamento energético do biogás produzido através da digestão anaeróbia - Cenário Otimista.**

Nome da CVO/TMB	Potência Instalada (MW)	Potência do Novo Motor (MW)	Potência Total Instalada (MW)
ETVO - Valorsul	1,668	1,1	2,768
CDA Abrunheira - TratoLixo	2,1	1,1	3,2
TMB Barlavento	1	0,35	1,35

#### 4.2.2 Cenário PERSU

Na Tabela 4.10 serão mostrados os parâmetros utilizados na modelação por CVO/TMB. Os parâmetros escolhidos tiveram como base a Tabela 3.4 apresentada no capítulo 3.

**Tabela 4.10 - Parâmetros utilizados na modelação das CVO/TMB - Cenário PERSU.**

Empresa Gestora	Nome da CVO/TMB	Parâmetro 1 (m³biogás/t RUB)	Parâmetro 2 (kWh produzido/t RUB)
Suldouro	CVO Sermonde	137	327
ERSUC	TMB Aveiro	108	234
	TMB Coimbra	92	208
Valorlis	CVO Leiria	138	338
Valorsul	ETVO	188	366
Valnor	CVO Avis	70	110
TratoLixo	CDA Abrunheira	110	230
Resulima	TMB Resulima	95	195
Algar	TMB São Brás Alportel	98	200
	TMB Barlavento	98	200
Amarsul	CVO Amarsul	112	233

Empresa Gestora	Nome da CVO/TMB	Parâmetro 1 (m <sup>3</sup> biogás/t RUB)	Parâmetro 2 (kWh produzido/t RUB)
Resíduos do Nordeste	UTMB Urjais	108	230
Planalto Beirão	CVO Planalto Beirão	105	230

Através dos dados representados na Tabela 4.7 e na Tabela 4.8 foi possível efetuar o cálculo da quantidade de biogás produzido em cada uma das CVO/TMB bem como a quantidade de energia elétrica produzida através dessa mesma quantidade de biogás.

#### 4.2.2.1 Produção de Energia Elétrica

A Figura 4.30 mostra a produção de energia elétrica no período 2014-2020.

Da análise do gráfico é possível constatar que a produção de energia elétrica nas CVO/TMB irá aumentar de 2014 a 2017 e de 2017 a 2020 tenderá a manter-se estável. O ligeiro aumento da produção de energia elétrica está associado à construção das novas CVO/TMB. A estabilização por volta de 2018 está relacionada com o facto de não estarem previstas mais construções de CVO/TMB.

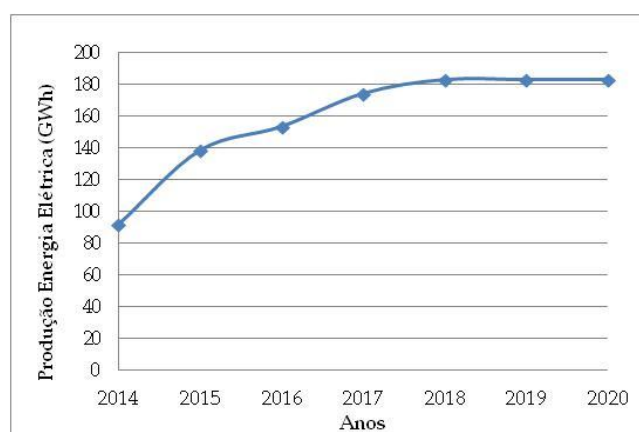


Figura 4.30 - Produção de Energia Elétrica 2014-2020 nas CVO/TMB - Cenário PERSU.

Neste cenário, a CVO/TMB que tem o maior contributo na produção de energia elétrica é, mais uma vez, a Central de Digestão Anaeróbia da Abrunheira pertencente à Tratolixo, com uma produção de cerca de 174 GWh de energia

elétrica, seguida da TMB de Aveiro pertencente à ERSUC, com uma produção de cerca de 159 GWh de energia elétrica no período de 2014-2020.

A diferença deste cenário para o anterior reside na quantidade produzida de biogás e consequentemente de energia elétrica. Neste cenário, ambas as quantidades produzidas são inferiores, sendo que, no período considerado de 2014-2020 estima-se que serão produzidos um total de cerca de 1.106 GWh de energia elétrica a partir de 520.918.402 m<sup>3</sup> de biogás.

#### **4.2.2.2 Emissões Evitadas**

Relativamente às emissões evitadas, na Figura 4.31 abaixo apresenta-se o respetivo gráfico.

É possível concluir que as emissões evitadas no período de 2014-2020 terão tendência a aumentar devido ao facto de se estarem a tomar medidas no sentido de, cada vez mais, se aproveitarem os recursos que antes eram desperdiçados. Estas medidas que hoje se estão a tomar, conduzem também a uma melhoria futura para o ambiente.

O gráfico indica a desagregação das emissões nas CVO/TMB. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

- As emissões evitadas se os resíduos forem colocados na CVO/TMB e se fizer o aproveitamento energético do biogás gerado através da digestão anaeróbia controlada (curva azul);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros onde não se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado (curva vermelha);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros onde se efetue o aproveitamento energético do biogás gerado (curva verde).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em

aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás.

A melhor opção será mesmo o envio dos RU para as CVO/TMB, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica os RU biodegradáveis.

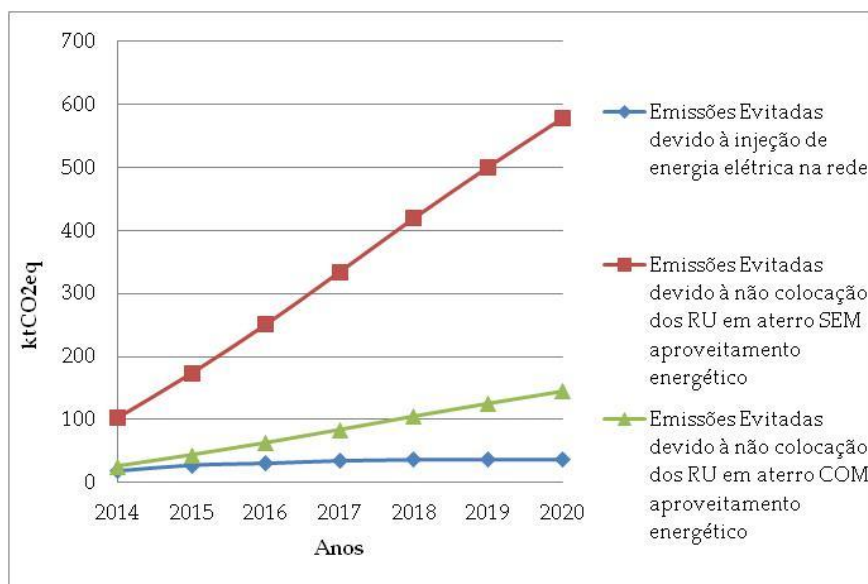


Figura 4.31 - Emissões Evitadas nas CVO/TMB - Cenário PERSU.

Para o período de 2014-2020 estima-se que irão ser evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 224 ktCO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2.3 Recomendações

Tal como no Cenário Otimista, tendo como objetivo a maximização do aproveitamento do biogás produzido através da digestão anaeróbia, far-se-ão recomendações ao nível da instalação de motores.

Uma vez que este cenário apresenta valores de produção de energia elétrica inferiores aos apresentados pelo Cenário Otimista, verifica-se que a única recomendação a fazer, ao nível da instalação de motores, será à ETVO pertencente à Valorsul. A ETVO possui atualmente uma potência instalada de 1,668 MW e necessitará de instalar um novo motor com a potência de 1,10 MW para assim perfazer uma potência total instalada de 2,768 MW. A potência total instalada permitirá produzir um máximo de 24 GWh de energia elétrica.

### 4.2.3 Cenário Pessimista

Na Tabela 4.11 serão mostrados os parâmetros utilizados na modelação por CVO/TMB. Os parâmetros escolhidos tiveram como base a Tabela 3.4 apresentada no capítulo 3.

**Tabela 4.11 - Parâmetros utilizados na modelação das CVO/TMB - Cenário Pessimista.**

Empresa Gestora	Nome da CVO/TMB	Parâmetro 1 (m <sup>3</sup> biogás/t RUB)	Parâmetro 2 (kWh produzido/t RUB)
Suldouro	CVO Sermonde	95	200
ERSUC	TMB Aveiro	97	117
	TMB Coimbra	92	200
Valorlis	CVO Leiria	99	140
Valorsul	ETVO	96	186
Valnor	CVO Avis	70	90
Tratolixo	CDA Abrunheira	95	100
Resulima	TMB Resulima	97	200
Algar	TMB São Brás Alportel	95	150
	TMB Barlavento	96	110
Amarsul	CVO Amarsul	90	150
Resíduos do Nordeste	UTMB Urjais	98	90
Planalto Beirão	CVO Planalto Beirão	85	100

Através dos dados representados na Tabela 4.7 e na Tabela 4.8 foi possível efetuar o cálculo da quantidade de biogás produzido em cada uma das CVO/TMB bem como a quantidade de energia elétrica produzida através dessa mesma quantidade de biogás.

#### 4.2.3.1 Produção de Energia Elétrica

O gráfico apresentado em baixo, na Figura 4.32 mostra a produção de energia elétrica no período considerado de 2014-2020.

Neste cenário, o comportamento da produção de energia elétrica é semelhante ao comportamento verificado nos cenários anteriores, é possível constatar que a produção de energia elétrica nas CVO/TMB irá aumentar de 2014 a 2017 e de 2017 a 2020 tenderá a manter-se estável. O ligeiro aumento da produção de energia elétrica está associado à construção das novas CVO/TMB. A estabilização por volta de 2018 está relacionada com o facto de não estarem previstas mais construções de CVO/TMB.

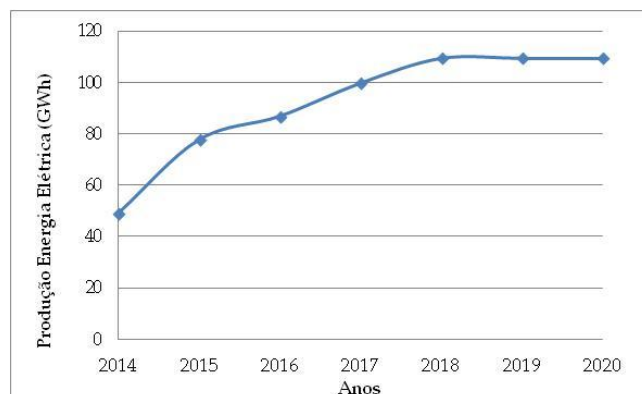


Figura 4.32 - Produção de Energia Elétrica 2014-2020 nas CVO/TMB - Cenário Pessimista.

Neste cenário, a CVO/TMB que apresenta o maior contributo na produção de energia elétrica é a TMB de Coimbra pertencente à ERSUC, com uma produção de cerca de 136 GWh de energia elétrica, seguida da TMB de Aveiro também pertencente à ERSUC, com uma produção de cerca de 79 GWh de energia elétrica no período considerado de 2014-2020.

A diferença deste cenário para os anteriores reside na quantidade produzida de biogás e, consequentemente, de energia elétrica. Neste cenário, as quantidades produzidas quer de biogás, quer de energia são inferiores, sendo que, no período considerado de 2014-2020 estima-se que serão produzidos um total de cerca de 642 GWh de energia elétrica a partir de 430.279.993 m<sup>3</sup> de biogás.



#### 4.2.3.2 Emissões Evitadas

Relativamente às emissões evitadas, abaixo, na Figura 4.33 encontra-se representado o gráfico da desagregação das emissões para as CVO/TMB.

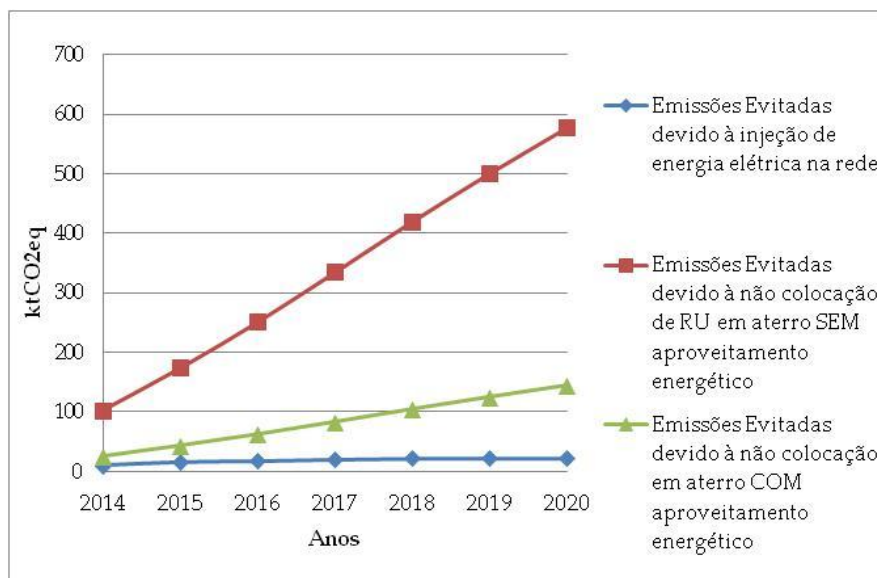
Analizando o gráfico apresentado na Figura 4.33, é possível concluir que as emissões evitadas no período de 2014-2020 terão tendência a aumentar devido ao facto de se estarem a tomar medidas no sentido de, cada vez mais, se aproveitarem os recursos que antes eram desperdiçados. Estas medidas que hoje se estão a tomar, conduzem também a uma melhoria futura para o ambiente.

O gráfico representado na Figura 4.33 indica a desagregação das emissões nas CVO/TMB. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

- As emissões evitadas se os resíduos forem colocados na CVO/TMB e se fizer o aproveitamento energético do biogás gerado através da digestão anaeróbia controlada (curva azul);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros sem aproveitamento energético do biogás gerado (curva vermelha);
- As emissões evitadas por os resíduos serem encaminhados para as CVO/TMB e não para aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado (curva verde).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás.

A melhor opção será mesmo o envio dos RU para as CVO/TMB, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica os RU biodegradáveis.



**Figura 4.33 - Emissões Evitadas nas CVO/TMB - Cenário Pessimista.**

Para o período de 2014-2020 estima-se que serão evitadas emissões devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 130 ktCO<sub>2</sub>.

### **4.3 Incineração**

Para cada incineradora foi efetuada uma modelação. De seguida serão apresentados os resultados obtidos através da modelação efetuada para cada uma delas, de acordo com cada cenário, fazendo-se também acompanhar a análise dos resultados obtidos.

As quantidades de RU que se consideraram que entrarão em cada uma das incineradoras no período de 2014-2020 são iguais para os Cenários Otimista e PERSU. No período 2014-2020, considerou-se que, para os Cenários Otimista e PERSU entrarão na incineradora da Valorsul cerca de 578.250 toneladas de RU por ano e, para o Cenário Pessimista, no mesmo período de tempo, entrarão por ano cerca de 498.275 toneladas de RU.

Relativamente à incineradora da Lipor situada na Maia, para o período de 2014-2020, considerou-se que, para os Cenários Otimista e PERSU entrarão cerca de 393.765 toneladas de RU por ano e, para o Cenário Pessimista darão entrada na incineradora cerca de 372.547 toneladas de RU por ano.

#### 4.3.1 Cenário Otimista

Na Tabela 4.12 são mostrados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período de 2014-2020 na incineradora de Lisboa CTRSU, pertencente à Valorsul.

**Tabela 4.12 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CTRSU pertencente à Valorsul - Cenário Otimista.**

Anos	Produção específica de energia (kWh/t RU)	Disponibilidade de carga (%)
2014	654	86,4
2015	654	86,4
2016	666	87,9
2017	645	85,2
2018	636	83,9
2019	653	86,1
2020	663	87,6

Da análise da tabela anterior é possível observar que a disponibilidade de carga se encontra situada num intervalo de valores entre os 83,9% e os 87,9%, sendo que, estes são valores bastante ambiciosos e, que por vezes, na prática são difíceis de atingir.

Na Tabela 4.13 são apresentados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período considerado de 2014-2020 na incineradora do Porto CVE da Maia pertencente à Lipor.

**Tabela 4.13 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CVE Maia pertencente à Lipor - Cenário Otimista.**

Anos	Produção específica de energia (kWh/t RU)	Disponibilidade de carga (%)
2014	469	84,2
2015	445	80,1
2016	470	84,4
2017	480	86,4
2018	488	86,4
2019	487	87,7
2020	478	85,9

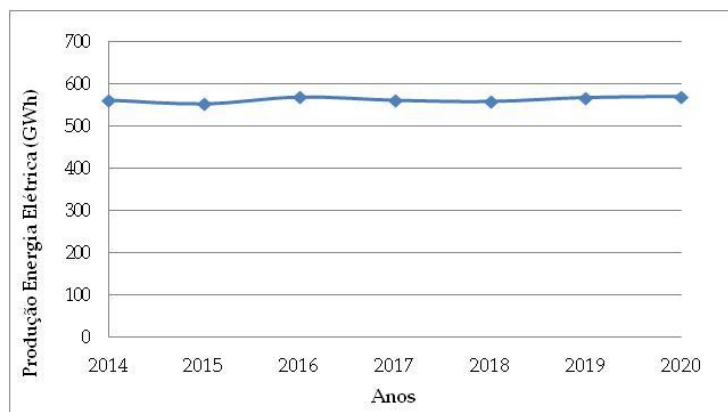
A disponibilidade de carga para a incineradora da Lipor tem também valores bastantes ambiciosos situando-se no intervalo entre os 80,1% e os 87,7%.

#### **4.3.1.1 Produção de Energia Elétrica**

O gráfico representado abaixo, na Figura 4.34, mostra a produção de energia elétrica no período de 2014-2020.

A curva de produção de energia elétrica apresenta algumas oscilações no período de 2014-2020 devido à disponibilidade de carga. As maiores disponibilidades de carga correspondem maiores produções de energia elétrica e vice-versa, contribuindo assim para a oscilação da produção de energia elétrica total. Nem todos os anos é possível a manutenção da disponibilidade de carga do ano anterior, sendo que esta depende de variados fatores, tais como, os períodos de manutenção da incineradora (indisponibilidade) e da qualidade/características dos resíduos disponíveis para queima.

Considerou-se que a potência instalada neste cenário corresponde à potência instalada nos dias de hoje, 50 MW na CTRSU da Valorsul e 25 MW na CVE da Maia da Lipor.



**Figura 4.34 - Incineração - Energia Elétrica Total Produzida 2014-2020 - Cenário Otimista.**

No período de 2014-2020 estima-se que serão produzidos um total de 3.948 GWh de energia elétrica.

#### **4.3.1.2 Emissões Associadas e Evitadas**

Relativamente às emissões associadas e evitadas, abaixo, na Figura 4.35, encontra-se representado o gráfico da desagregação das emissões para as incineradoras em estudo.

O gráfico representado na Figura 4.35 indica a desagregação das emissões nas unidades de incineração. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

- Se os resíduos urbanos forem colocados nas unidades de incineração e se fizer a sua queima e aproveitamento energético dessa mesma queima, ter-se-ão as emissões associadas à unidade de incineração (curva azul) e as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva vermelha);

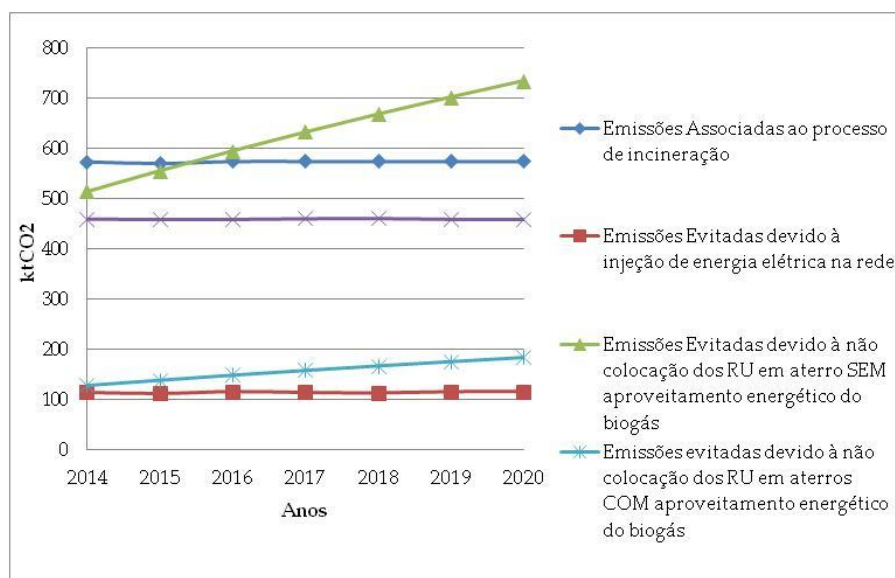
- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros que não efetuam o aproveitamento energético (curva verde);

- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão emissões evitadas devido à não colocação

dos RU em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado (curva azul clara).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás.

A melhor opção será mesmo o encaminhamento dos RU para as unidades de incineração em vez da sua deposição em aterro, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica os RU totais.



**Figura 4.35 - Incineração - Emissões Associadas e Evitadas 2014-2020 - Cenário Otimista.**

No período de 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera cerca de 4.020 ktCO<sub>2</sub> e evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 801 ktCO<sub>2</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 3.219 ktCO<sub>2</sub>.

### 4.3.2 Cenário PERSU

Na Tabela 4.14 são mostrados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período considerado de 2014-2020 na incineradora de Lisboa CTRSU pertencente à Valorsul.

**Tabela 4.14 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CTRSU pertencente à Valorsul - Cenário PERSU.**

<b>Anos</b>	<b>Produção específica de energia (kWh/t RU)</b>	<b>Disponibilidade de carga (%)</b>
2014	572	56,4
2015	570	56,1
2016	602	59,3
2017	688	67,7
2018	695	68,5
2019	674	66,4
2020	701	69,1

Da análise da tabela anterior é possível observar que a disponibilidade de carga se encontra num intervalo de valores situado entre os 56,1% e os 68,5%, correspondendo a valores aceitáveis nesta unidade de incineração.

Na Tabela 4.15 são mostrados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período considerado de 2014-2020 na incineradora do Porto CVE da Maia pertencente à Lipor.

**Tabela 4.15 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CVE Maia pertencente à Lipor - Cenário PERSU.**

<b>Anos</b>	<b>Produção específica de energia (kWh/t RU)</b>	<b>Disponibilidade de carga (%)</b>
2014	598	64,0
2015	611	65,4
2016	655	70,1
2017	669	71,6
2018	697	74,6
2019	706	75,5
2020	745	79,8

A disponibilidade de carga para a incineradora da Lipor encontra-se no intervalo entre os 64,0% e os 79,8%, correspondendo a valores aceitáveis para esta unidade de incineração.

#### 4.3.2.1 Produção de Energia Elétrica

O gráfico representado abaixo, na Figura 4.36, mostra a produção de energia elétrica no período de 2014-2020.

Neste cenário verifica-se uma possível ampliação da potência instalada em ambas as CVE's (CTRSU da Valorsul e CVE da Lipor), assim, a diferença na produção de energia elétrica entre o Cenário Otimista e o presente cenário está na ampliação de ambas as incineradoras. No presente cenário, a potência instalada da CTRSU da Valorsul é de 67 MW e a da CVE da Maia da Lipor é de 42 MW. O aumento da potência instalada em cada uma delas contribui para o aumento da produção de energia elétrica.

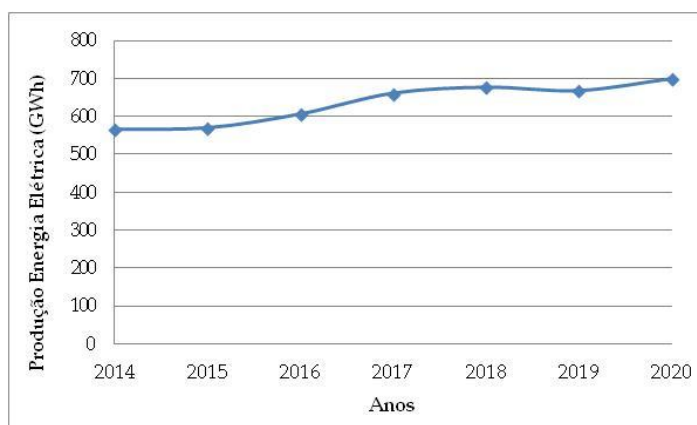


Figura 4.36 - Incineração - Energia Elétrica Total Produzida 2014-2020 - Cenário PERSU.

No período de 2014-2020 serão produzidos cerca de 4.447 GWh de energia elétrica nas duas unidades de incineração.

#### 4.3.2.2 Emissões Associadas e Evitadas

Relativamente às emissões associadas e evitadas, abaixo, na Figura 4.37, encontra-se representado o gráfico da desagregação das emissões para as incineradoras em estudo.



O gráfico representado na Figura 4.37 indica a desagregação das emissões nas unidades de incineração. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

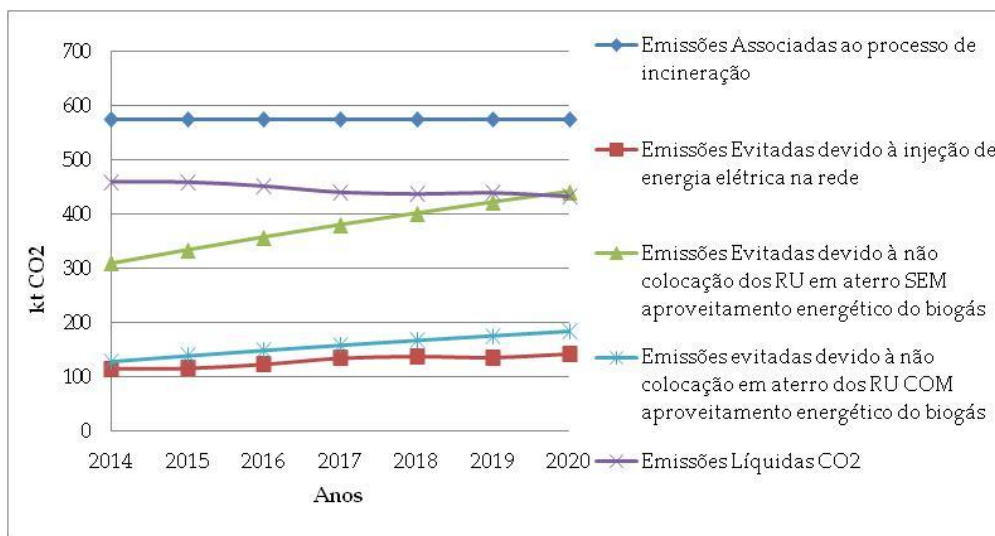
- Se os resíduos urbanos forem colocados nas unidades de incineração e se fizer a sua queima e aproveitamento energético dessa mesma queima, ter-se-ão as emissões associadas à unidade de incineração (curva azul) e as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva vermelha);

- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros que não efetuam o aproveitamento energético (curva verde);

- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado (curva azul clara).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás.

A melhor opção será mesmo o encaminhamento dos RU para as unidades de incineração em vez da sua deposição em aterro, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica os RU totais.



**Figura 4.37 - Incineração - Emissões Associadas e Evitadas 2014-2020 - Cenário PERSU.**

No período de 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera cerca de 4.024 ktCO<sub>2</sub> e evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 902 ktCO<sub>2</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 3.122 ktCO<sub>2</sub>.

### 4.3.3 Cenário Pessimista

Na Tabela 4.16 são mostrados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período de 2014-2020 na incineradora de Lisboa CTRSU pertencente à Valorsul.

**Tabela 4.16 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CTRSU pertencente à Valorsul - Cenário Pessimista.**

<b>Anos</b>	<b>Produção específica de energia (kWh/t RU)</b>	<b>Disponibilidade de carga (%)</b>
2014	421	47,9
2015	387	44,0
2016	345	39,3
2017	412	46,9
2018	458	52,1
2019	428	48,8
2020	478	54,4

Da análise da tabela anterior é possível observar que a disponibilidade de carga se encontra num intervalo de valores situado entre os 39,3% e os 54,4%, correspondendo a valores baixos nesta unidade de incineração.

Na Tabela 4.17 são mostrados os parâmetros utilizados na modelação ao longo do período de 2014-2020 na incineradora do Porto CVE da Maia pertencente à Lipor.

**Tabela 4.17 - Parâmetros utilizados na modelação da incineradora CVE Maia pertencente à Lipor - Cenário Pessimista.**

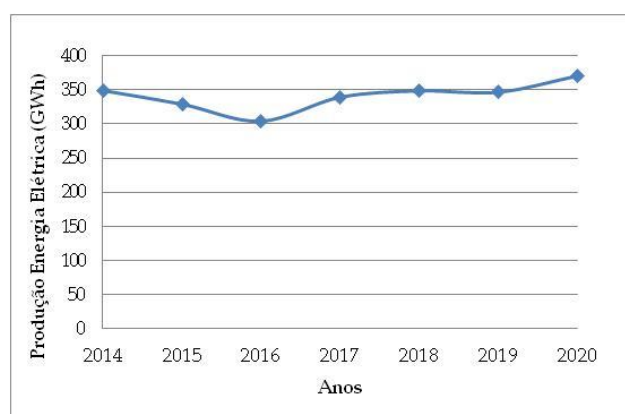
<b>Anos</b>	<b>Produção específica de energia (kWh/t RU)</b>	<b>Disponibilidade de carga (%)</b>
2014	374	63,7
2015	366	62,2
2016	354	60,3
2017	360	61,1
2018	323	55,0
2019	357	60,8
2020	355	60,4

A disponibilidade de carga para a incineradora da Lipor no presente cenário anda no intervalo situado entre os 55,0% e os 63,7%.

#### **4.3.3.1 Produção de Energia Elétrica**

O gráfico representado abaixo, na Figura 4.38 mostra a produção de energia elétrica no período de 2014-2020.

Pela análise da Figura 4.38 é possível constatar que a produção de energia elétrica neste cenário não sofre muitas alterações ao longo do período em análise 2014-2020. Neste cenário a produção de energia elétrica é inferior à dos cenários apresentados anteriormente, devido à menor disponibilidade de carga em cada uma das incineradoras.



**Figura 4.38 - Incineração - Energia Elétrica Total Produzida 2014-2020 - Cenário Pessimista.**

No período de 2014-2020 serão produzidos cerca de 2.388 GWh de energia elétrica nas duas unidades de incineração.

#### **4.3.3.2 Emissões Associadas e Evitadas**

Relativamente às emissões associadas e evitadas, abaixo, na Figura 4.39, encontra-se representado o gráfico da desagregação das emissões para as incineradoras em estudo.

O gráfico representado na Figura 4.37 indica a desagregação das emissões nas unidades de incineração. Neste cenário, é feita a análise de três tipos de situações:

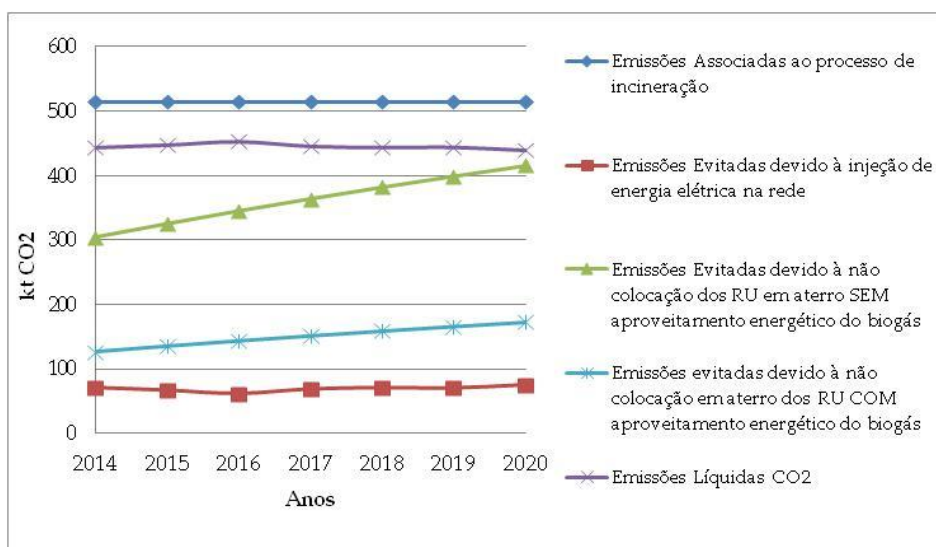
- Se os resíduos urbanos forem colocados nas unidades de incineração e se fizer a sua queima e aproveitamento energético dessa mesma queima, ter-se-ão as emissões associadas à unidade de incineração (curva azul) e as emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede (curva vermelha);

- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que não efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão as emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros que não efetuam o aproveitamento energético (curva verde);

- Se os resíduos urbanos em vez de serem encaminhados para as unidades de incineração, se fossem colocados em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado, ter-se-ão emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros que efetuam o aproveitamento energético do biogás gerado (curva azul clara).

Nos aterros onde se efetua o aproveitamento energético do biogás, as emissões de gases com efeito estufa são muito inferiores quando comparadas com as emissões de gases com efeito de estufa dos aterros onde não se aproveita o biogás gerado no aterro. Assim, será de esperar que as emissões evitadas em aterros que não façam o aproveitamento energético sejam superiores às emissões evitadas em aterros que façam o aproveitamento energético do biogás.

A melhor opção será mesmo o encaminhamento dos RU para as unidades de incineração em vez da sua deposição em aterro, uma vez que, nestas instalações consegue-se aproveitar para produção de energia elétrica os RU totais.



**Figura 4.39 - Incineração - Emissões Associadas e Evitadas 2014-2020 - Cenário Pessimista.**

No período de 2014-2020 estima-se que serão emitidas para a atmosfera cerca de 3.605 ktCO<sub>2</sub> e evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede cerca de 484 ktCO<sub>2</sub>, correspondendo à emissão líquida de CO<sub>2</sub> de 3.121 ktCO<sub>2</sub>

#### **4.4 Síntese de Resultados**

Fazendo uma avaliação global dos resultados obtidos relativamente à produção de energia elétrica, emissões associadas e emissões evitadas em todos os cenários estudados, obtêm-se as Tabela 4.18, Tabela 4.19, Tabela 4.20 e Tabela 4.21 respetivamente.

Na Tabela 4.18 é possível concluir que o cenário que produzirá maiores quantidades de energia no período 2014-2020 será o cenário Otimista, seguindo-se o cenário PERSU e por último o cenário Pessimista.

Na Tabela 4.19 é possível concluir que o processo que produzirá maiores quantidades de emissões de CO<sub>2eq</sub> serão os aterros sanitários para o cenário Otimista e PERSU enquanto que, no cenário Pessimista será a Incineração o processo que produzirá maiores quantidades de emissões de CO<sub>2eq</sub>.

A Tabela 4.20 dá a informação das emissões líquidas de CO<sub>2eq</sub> para o período de 2014-2020 e pode-se concluir que os aterros sanitários, para todos os cenários analisados serão maiores emissores de CO<sub>2</sub>.

A Tabela 4.21 dá a informação das emissões evitadas devido à não colocação dos RU em aterros sanitários onde se efetue e não efetue o aproveitamento energético do biogás gerado para o período 2014-2020. Estas não são variáveis de cenário para cenário, visto que as quantidades de entrada de RU consideradas não foram variáveis.

**Tabela 4.18 – Tabela síntese da produção de energia elétrica em todos os cenários (valores em GWh).**

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total (GWh)
<b>COTim – AS</b>	526	519	506	488	470	450	430	3.389
<b>COTim – CVO/TMB</b>	111	163	186	209	222	222	222	1.336
<b>COTim – Incin.</b>	563	554	570	562	559	569	572	3.949
<b>Total Energia Elétrica COTim</b>	1.200	1.236	1.262	1.259	1.251	1.241	1.224	8.674
<b>CPer – AS</b>	278	273	267	261	255	246	237	1.816
<b>CPer – CVO/TMB</b>	92	138	153	174	183	183	183	1.106
<b>CPer – Incin.</b>	566	570	606	661	677	668	699	4.447
<b>Total Energia Elétrica CPer</b>	936	981	1.026	1.096	1.115	1.097	1.119	7.369
<b>CPess – AS</b>	278	273	267	261	255	246	237	1.816
<b>CPess – CVO/TMB</b>	49	78	87	100	110	110	110	643
<b>CPess – Incin.</b>	349	329	304	339	349	347	371	2.388
<b>Total Energia Elétrica CPess</b>	676	680	658	700	714	703	718	4.847



**Tabela 4.19 - Tabela síntese das emissões associadas em todos os cenários.**

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
<b>COtim – AS (ktCO<sub>2eq</sub>)</b>	791	777	757	732	705	675	646	5.082
<b>COtim – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>COtim – Incin. (ktCO<sub>2</sub>)</b>	574	571	575	575	575	575	575	4.020
<b>Total Emissões COtim</b>	1.365	1.348	1.332	1.307	1.280	1.250	1.221	9.102
<b>CPer – AS (ktCO<sub>2eq</sub>)</b>	883	878	865	843	819	790	761	5.838
<b>CPer – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>CPer – Incin. (ktCO<sub>2</sub>)</b>	575	575	575	575	575	575	575	4.024
<b>Total Emissões CPer</b>	1.458	1.453	1.440	1.418	1.394	1.365	1.336	9.407
<b>CPess – AS (ktCO<sub>2eq</sub>)</b>	452	477	490	490	483	470	454	3.315
<b>CPess – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>CPess – Incin. (ktCO<sub>2</sub>)</b>	515	515	515	515	515	515	515	3.605
<b>Total Emissões CPess</b>	967	992	1.005	1.005	998	985	969	6.920

N.A. – Não Aplicável

Tabela 4.20 - Tabela síntese das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> em todos os cenários (valores em ktCO<sub>2eq</sub>).

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total (ktCO <sub>2eq</sub> )
<b>COtim – AS</b>	694	682	665	643	621	595	570	4.471
<b>COtim – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>COtim – Incin.</b>	460	459	459	461	461	459	459	3.219
<b>Total Emissões COtim</b>	1.154	1.141	1.124	1.104	1.082	1.054	1.029	7.690
<b>CPer – AS</b>	817	813	802	781	758	731	703	5.405
<b>CPer – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>CPer – Incin.</b>	460	459	452	441	438	439	433	3.122
<b>Total Emissões CPer</b>	1.277	1.272	1.254	1.222	1.196	1.170	1.136	8.617
<b>CPess – AS</b>	830	846	851	839	821	798	773	5.756
<b>CPess – CVO/TMB</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>CPess – Incin.</b>	444	448	453	446	444	445	440	3.121
<b>Total Emissões CPess</b>	1.274	1.294	1.304	1.285	1.265	1.243	1.213	8.877

N.A. - Não Aplicável

**Tabela 4.21 - Tabela síntese das emissões evitadas (valores em ktCO<sub>2eq</sub>).**

<b>Processo Período 2014-2020</b>	<b>Emissões Evitadas devido à não colocação dos RU em aterros sanitários COM aproveitamento energético do biogás</b>	<b>Emissões Evitadas devido à não colocação dos RU em aterros SEM aproveitamento energético do biogás</b>
<b>Aterros Sanitários</b>	N.A.	N.A.
<b>CVO/TMB</b>	590	2.361
<b>Incineração</b>	1.101	4.406
<b>Emissões Evitadas Totais</b>	1.691	6.767



## 5 Conclusões

### 5.1 Síntese

Nas últimas décadas, passou-se da ausência de perspetivas no que toca ao tratamento e aproveitamento dos resíduos para uma perspetiva integrada de gestão em que os sistemas de gestão de resíduos sofreram acentuadas alterações ao longo desse período de tempo. O destino final dado aos resíduos urbanos era, na sua totalidade, o envio para aterro sem qualquer tipo de aproveitamento. Progressivamente, esse paradigma tem vindo a modificar-se, em grande parte devido à influência das diretivas e metas definidas pela Comissão Europeia.

Atualmente assiste-se em Portugal Continental a um crescimento da aposta nas energias renováveis para a produção de energia elétrica de forma “limpa”, bem como à valorização dos resíduos urbanos como recurso para à produção de energia elétrica.

Relativamente à produção de energia elétrica conclui-se o seguinte:

- No período considerado de 2014-2020, a incineração é o processo que conseguirá produzir maiores quantidades de energia em qualquer um dos cenários analisados, seguido dos aterros e por último das CVO/TMB. O cenário Otimista será onde se conseguirá produzir maior quantidade de energia elétrica, 8.674 GWh, seguido do cenário PERSU, 7.369 GWh e por último o cenário Pessimista conseguindo-se produzir 4.847 GWh de energia elétrica total para o período de 2014-2020;
- Se a tarifa de injeção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis se situar nos 0,11€/kWh, as empresas de gestão de resíduos, no seu conjunto, conseguirão faturar com a venda de energia elétrica à rede cerca de 954 M€ num cenário Otimista, 811 M€ num cenário PERSU e 533 M€ num cenário Pessimista;

- Os aterros sanitários situados na Zona Centro e LVT serão os que conseguirão produzir maior quantidade de energia elétrica em todos os cenários estudados. A CVO/TMB que irá produzir maior quantidade de energia elétrica num cenário Otimista (245 GWh) e PERSU (174 GWh) será a CDA da Abrunheira pertencente à Tratolixo, enquanto que num cenário Pessimista será a TMB de Coimbra (136 GWh). Quanto à incineração, a unidade de incineração que produzirá maior quantidade de energia elétrica em qualquer um dos cenários analisados, será a CTRSU da Valorsul devido à sua maior potência instalada;
- Atualmente existem poucos aterros sanitários onde o biogás não está a ser aproveitado: apenas 10 aterros dos 38 aterros existentes
- A potência instalada atualmente em alguns dos aterros não será suficiente e terão de ser instalados novos motores para que se possa aproveitar ao máximo o potencial do biogás captado.

Relativamente às emissões pode concluir-se que:

- Os aterros sanitários, em qualquer um dos cenários, são o destino final com maior emissão para a atmosfera de gases que agravam o efeito de estufa;
- No cenário Otimista está prevista para o período 2014-2020 a emissão total de gases com efeito de estufa para a atmosfera de 9.102 ktCO<sub>2eq</sub>, para o cenário PERSU 9.862 ktCO<sub>2eq</sub> e num cenário Pessimista 9.795 ktCO<sub>2eq</sub>. O cenário PERSU terá maiores emissões, porque neste cenário considerou-se que a potência instalada nas unidades de incineração seria superior comparada com os outros dois cenários;
- Num total de 972.015 t RU que darão entrada nas unidades de incineração, através dos cálculos efetuados, chegou-se à conclusão que no cenário Otimista, serão emitidas por ano cerca de 571 ktCO<sub>2</sub>, cerca de 575 ktCO<sub>2</sub> no cenário PERSU e cerca de 515 kt CO<sub>2</sub> no cenário Pessimista. Assim, por tonelada de RU queimada nas unidades de incineração emitir-se-á em média por ano cerca de 0,57 tCO<sub>2</sub>/t RU;

- Num total de 1.392.556 t RU que darão entrada em todos os aterros existentes em Portugal Continental, através dos cálculos efetuados, chegou-se à conclusão que no cenário Otimista serão emitidas por ano cerca de 777 ktCO<sub>2eq</sub>, cerca de 878 ktCO<sub>2eq</sub> no cenário PERSU e cerca de 911 ktCO<sub>2eq</sub> cenário Pessimista. Assim, por tonelada de RU colocada em aterro, emitir-se-á em média por ano cerca de 0,61 tCO<sub>2eq</sub>/t RU;
- Relativamente às emissões evitadas devido à injeção de energia elétrica na rede no período considerado de 2014-2020, o cenário Otimista apresenta as maiores emissões 1.683 ktCO<sub>2</sub>, seguido do cenário PERSU (1.335 ktCO<sub>2</sub>) e por último o cenário Pessimista (1.048 ktCO<sub>2</sub>);
- Deveriam ser construídas mais CVO/TMB para que a fração de resíduos biodegradáveis fosse totalmente aproveitada energeticamente em vez de ser enviada para aterro (onde também pode ser aproveitada, mas não tão eficazmente) e onde as perdas de gases prejudiciais para a atmosfera são muito superiores comparadas com as perdas nas CVO/TMB.

## **5.2 Recomendações**

A obtenção de dados constitui um entrave ao estudo da problemática em questão. Com o objetivo de permitir efetuar o acompanhamento da evolução das metas definidas no sentido de proporcionar um cada vez melhor aproveitamento dos recursos disponíveis com a consequente redução das emissões para a atmosfera, recomenda-se uma maior divulgação/democratização dos respetivos dados relevantes.

Ao longo do presente trabalho foram efetuadas algumas recomendações que poderão ser postas em prática para que as empresas consigam maximizar o aproveitamento da produção de biogás e assim produzir eletricidade a partir do mesmo.

Recomenda-se também que se deve continuar a investir esforços no sentido de cumprir e fazer cumprir as metas previstas pelo PERSU 2020 e a

adaptar os sistemas tendo como objetivo o seu cumprimento. Para além do cumprimento das metas, também o próprio PERSU 2020 deverá continuar sistematicamente a ser atualizado no sentido de ajustar algumas diretrizes que, eventualmente se venham a revelar impossíveis ou passíveis de não poderem ser cumpridas

### ***5.3 Desenvolvimentos Futuros***

Como objeto de futuros desenvolvimentos, apresentam-se as seguintes sugestões:

- Estudo económico de cada um dos três tipos de instalações atualmente existentes eventualmente complementado com outras novas tecnologias/processos que entretanto venham a surgir
- Desenvolvimento de um modelo complementar ao LandGEM que possibilite obter de forma direta os seguintes resultados:
  - Quantidade de biogás produzido através do processo de digestão anaeróbia
  - Emissões associadas aos processos suportados
  - Emissões evitadas com recurso a utilização dos processos suportados
- Outras utilizações do biogás captado para além da geração de energia elétrica (exemplo: abastecimento de veículos, residencial, etc.)
- A incineração como potencial fonte de outras formas de energia, nomeadamente, de calor para outros fins além da produção de energia elétrica (exemplo: aquecimento de edifícios, fornecimento de calor a unidades industriais, etc.).



## Referências Bibliográficas

Alexander, A., Burklin, C., & Sigleton, A. (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Washington: U.S. Environmental Protection Agency.

Alvarenga, A., Ribeiro, R., & Rodrigues, S. (Outubro 2013). *Relatório do Estado do Ambiente 2013*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

APA. (2013b). *Relatório do Estado do Ambiente 2013*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA. (2013a). *Resíduos Sólidos Urbanos - Relatório Anual 2011*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2012c). *Avaliação do cumprimento do Protocolo de Quioto*. Amadora.

Braga, J. M. (2011). *Previsão da Produção de Biogás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente da Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciência e Tecnologia.

Cabeças, A. (24 a 26 Outubro 2011). Centros Eletroprodutores de Biogás no Universo EGF - Apresentação da Calibração do modelo teórico com base em dados de campo. *7ª Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Cabeças, A. J. (2005). *Aterro Sanitário - Resíduos Sólidos Urbanos - Enquadramento, Conceitos Gerais e Bases de Projecto*. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Cabeças, E. A., & Dores, E. R. (29 de Janeiro de 2014). Dados quantitativos relativos aos aterros sanitários do Grupo EGF - Período 1998-2012. (F. C. Pessoa da Silva, Entrevistador)

Comissão de acompanhamento grupo trabalho operacional. (15 de Maio de 2013). *Elaboração do plano estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2014-2020 - PERSU2020*. Lisboa.

Despacho n.º17313/2008 de 26 de Junho de 2008. *Diário da República* N.º122 - 2ª série. Ministério da Economia e da Inovação.

Dores, E. R., Vazquez, E. R., & Cabeças, E. A. (7 de Fevereiro de 2014). Dados das Centrais de Valorização Orgânica - Grupo Águas de Portugal. (F. C. Pessoa da Silva, Entrevistador)

EDP - Energias de Portugal. (s.d.). Obtido em 2 de Março de 2014, de <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>

EEA. (2013). *Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 european countries*. European Environment Agency.

ERSE. (2011). *Recomendação n.º 2/2011- Rotulagem de Energia Elétrica*. ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

Ferrão, P., & Pinheiro, L. (2011). *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020*.

Ferreira, V. (2010). *Contribuição para o estudo da modelação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos*. Lisboa, Portugal: Colibri/Instituto Politécnico de Lisboa.

GE Infrastructure. (s.d.). *GE Energy*. Obtido em 5 de Março de 2014, de <http://www.ge-energy.com/index.jsp>

Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. ISBN 0-471-20693-8.

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste - A Global Review of Solid Waste Management*. World Bank.

INE. (2012). *Anuário Estatístico de Portugal 2011*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, IP.

INEGI. (2014). *e2p - Energias endógenas de Portugal - Base de dados de fontes renováveis de energia*. Obtido em 26 de Fevereiro de 2014, de <http://e2p.inegi.up.pt/>

Jensen, J. E., & Pipatti, R. (2002). *CH<sub>4</sub> Emissions from solid waste disposal*. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.

João de Quina, M. M. (2005). *Processos de Inertização e Valorização de Cinzas Volantes - Incineração de RSU*. Dissertação para obtenção de grau de Doutor em Engenharia Química - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Kaplan, O. P., Decaloris, J., & Thorneloe, S. (2009). *Is It Better To Burn or Bury Waste for Clean Electricity Generation?* Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 1711–1717.

Manfredi, S. (2009). *Environmental Assessment of Solid Waste Landfilling in a Life Cycle Perspective (LCA model EASEWASTE)*. Technical University of Denmark - PhD Thesis.

Martinho, M. d., Gonçalves, M. G., & Silveira, A. I. (2011). *Gestão Integrada de Resíduos - Tratamento e Valorização Energética*. Universidade Aberta.

McDougall, F., White, P., Franke, M., & Hindle, P. (2001). *Integrated Solid Waste Management - a life cycle inventory*. Blackwell Science.

Mendes, C. S. (2009). *Acidificação do condensado de uma indústria de pasta de papel*. Tese para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional. (2007). *PERSU II - Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2013). *Proposta - PERSU 2020 - Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos*.

Parawira, W., Murto, M., Read, J. S., & Mattiasson, B. (2005). Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste. *Process Biochemistry* 40 , 2945–2952.

Portal ERSE. (2014). Obtido em 26 de Fevereiro de 2014, de Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/Paginas/default.aspx>

REN. (2014). *REN - O setor elétrico*. Obtido em 26 de Fevereiro de 2014, de [http://www.ren.pt/o\\_que\\_fazemos/electricidade/o\\_setor\\_eletrico/#1](http://www.ren.pt/o_que_fazemos/electricidade/o_setor_eletrico/#1)

Russo, M. A. (2005). *Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário*. Universidade do Minho - Escola de Engenharia - Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil.

Seadi, T. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2001). *Good practice in quality management of AD residues from biogas production*. Task 24 - Energy from Biological Conversion of Organic Waste pertencente ao projeto IEA Bioenergy.

Silveira, G. d. (2009). *Estudo de co-digestão anaeróbia de lamas domésticas com o efluente da indústria da fermentação da levedura do pão da empresa Mauri Fermentos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia da Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Silvério, M. R. (2011). *Arranque, Monitorização e Optimização do Sistema de Desodorização da Central de Valorização Orgânica da Suldouro*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Tavares, V. S. (2013). *Análise de Ciclo de Vida dos RU em Destino Final. Caso de Estudo: Aterros e Incineradoras de Portugal*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais da Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Teixeira, N. A. (2009). *Recuperação de Resíduos de Embalagem através do Tratamento Mecânico e Biológico em Portugal Continental*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciência e Tecnologia.

Uusitalo, V., Soukka, R., Horttanainen, M., Niskanen, A., & Havukainen, J. (2013). Economics and greenhouse gas balance of biogas use systems in the Finnish transportation sector. *Renewable Energy*, 51 , 132-140.

Vitorino, S. (2008). *Um Contributo Para a Avaliação do Desempenho do serviço de Gestão de RSU no*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Watson, R., & Sundararaman, N. (2006). *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. SWITZERLAND: UNEP & WMO.

Zaman, A. U. (2009). *Life Cycle Environmental Assessment of Municipal Solid Waste to Energy Technologies*. Global Journal of Environmental Research 3 (3): 155-163.